

1999:27

Störande buller

Kunskapsöversikt för kriteriedokumentation

Ulf Landström

Stig Arlinger

Staffan Hygge

Örjan Johansson

Anders Kjellberg

Kerstin Persson Waye

ARBETE OCH HÄLSA VETENSKAPLIG SKRIFTSERIE

ISBN 91-7045-548-1 ISSN 0346-7821 <http://www.niwl.se/ah/>



Arbetslivsinstitutet

Arbetslivsinstitutet är ett nationellt kunskapscentrum för arbetslivsfrågor. På uppdrag av Näringsdepartementet bedriver institutet forskning, utbildning och utveckling kring hela arbetslivet.

Arbetslivsinstitutets mål är att bidra till:

- Förnyelse och utveckling av arbetslivet
- Långsiktig kunskaps- och kompetensuppbyggnad
- Minskade risker för ohälsa och olycksfall

Forskning och utveckling sker inom tre huvudområden; arbetsmarknad, arbetsorganisation och arbetsmiljö. Forskningen är mångvetenskaplig och utgår från problem och utvecklingstendenser i arbetslivet. Verksamheten bedrivs i ett tjugotal program. En viktig del i verksamheten är kommunikation och kunskapsspridning.

Det är i mötet mellan teori och praktik, mellan forskare och praktiker, som det skapas nya tankar som leder till utveckling. En viktig uppgift för Arbetslivsinstitutet är att skapa förutsättningar för dessa möten. Institutet samarbetar med arbetsmarknadens parter, näringsliv, universitet och högskolor, internationella intressenter och andra aktörer.

Olika regioner i Sverige har sina unika förutsättningar för utveckling av arbetslivet. Arbetslivsinstitutet finns i Bergslagen, Göteborg, Malmö, Norrköping, Solna, Stockholm, Söderhamn, Umeå och Östersund.

För mer information eller kontakt, besök vår webbplats www.niwl.se

ARBETE OCH HÄLSA

Redaktör: Staffan Marklund

Redaktion: Mikael Bergenheim, Anders Kjellberg, Birgitta Meding, Gunnar Rosén och Ewa Wigaeus Hjelm

© Arbetslivsinstitutet & författarna 1999

Arbetslivsinstitutet,
112 79 Stockholm

ISBN 91-7045-548-1

ISSN 0346-7821

<http://www.niwl.se/ah/>

Tryckt hos CM Gruppen

Förord

Följande kunskapsöversikt avses ligga till grund för utarbetande av ett kriteriedokument "Störande buller". Det kommande kriteriedokumentet publiceras separat som rapport i serien Arbete och Hälsa inom ramen för verksamheten för Arbetslivsinstitutets kriteriegrupp för fysikaliska riskfaktorer.

Dokumentet publiceras med delat innehållsmässigt ansvar, där olika författare ansvarar för sina respektive kapitel:

Kapitel 2 har författats av Örjan Johansson, Luleå Tekniska Universitet.

Kapitel 3 har författats av Ulf Landström, Arbetslivsinstitutet, Umeå

Kapitel 4 har författats av Stig Arlinger, Hälsouniversitet, Linköping

Kapitel 5 har författats av Anders Kjellberg, Arbetslivsinstitutet, Solna

Kapitel 6 har författats av Staffan Hygge, KTH, Gävle

Kapitel 7 har författats av Kerstin Persson Waye, Göteborgs Universitet

Kapitel 8 har författats av Ulf Landström, Arbetslivsinstitutet, Umeå

Kapitel 9 har författats av Ulf Landström, Arbetslivsinstitutet, Umeå

Ulf Landström

Umeå 1999-12-31

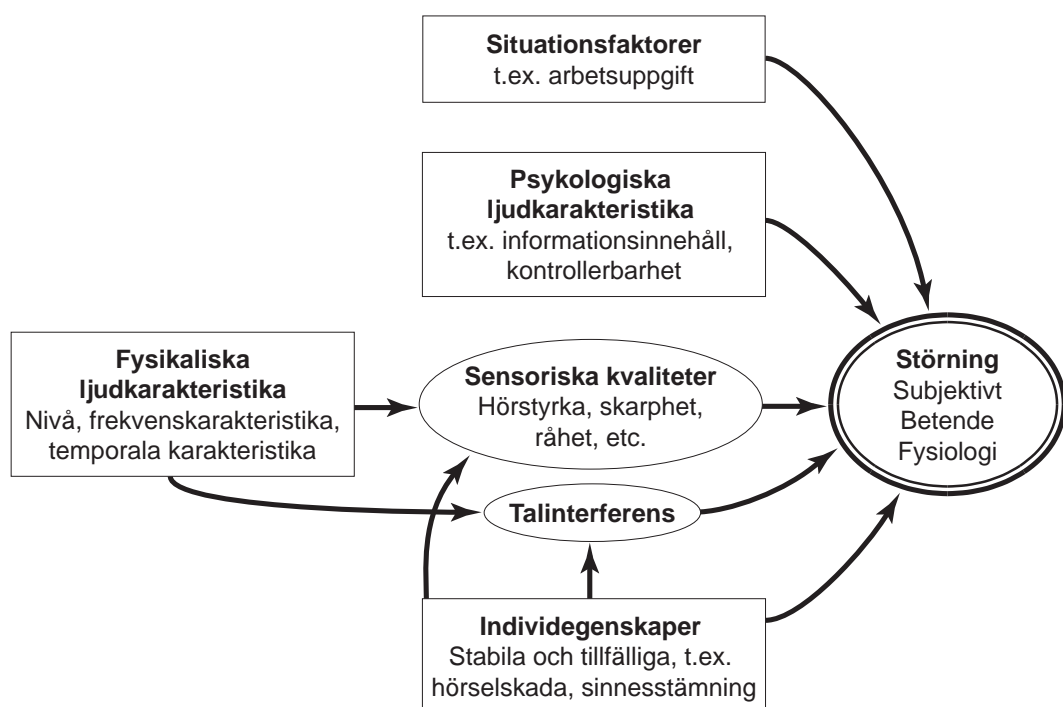
Innehåll

| | |
|--|-----|
| 1. Inledning | 1 |
| 2. Akustiska mätmetoder och mätstorheter för bedömning av bullerstörning | 3 |
| 3. Bullerstörning utifrån bullrets fysikaliska egenskaper | 19 |
| 4. Störning av talkommunikation | 28 |
| 5. Betydelsen av icke-akustiska förhållanden och individuella skillnader | 44 |
| 6. Buller, skola, prestation och inläring | 58 |
| 7. Lågfrekvent buller | 75 |
| 8. Infraljud | 92 |
| 9. Ultraljud | 99 |
| 10. Sammanfattning | 103 |
| 11. Summary | 104 |

1. Inledning

Buller kan föranleda problem på nivåer långt under de som kan ge upphov till hörselskador, och de ljud som kan ge hörselskador kan också på andra sätt påverka dem som utsätts för det. Föreliggande dokument behandlar i huvudsak de av dessa effekter som kan ges den samlade beteckningen *störning*. I detta begrepp inkluderas här inte bara en negativ känslomässig reaktion på bullret (att det upplevs som störande, obehagligt, irriterande etc), dvs inte bara det som på engelska brukar kallas *annoyance*. I störningsbegreppet, som det används här, ingår även andra reaktioner på bullret än sådana direkta värderingar av bullret. För det första tas även sådana subjektiva effekter upp som den bullerexponerade inte själv nödvändigtvis kopplar till bullret; bullret kan t ex tänkas skapa trötthet eller irritabilitet utan att personen själv ser detta som en bullereffekt. För det andra behandlas även andra uttryck för störningen än de upplevelsemässiga. Bullret kan göra att arbetsuppgiften blir svårare att genomföra, och det kan därför också försämra prestationen. Dessutom tas i några avsnitt upp fysiologiska manifestationer av den subjektiva och beteendemässiga störningen (t ex stressreaktioner).

Kunskapsöversikten behandlar alltså inte hörselskador, däremot de speciella störningsproblem som drabbar de hörselskadade. Den ger heller inte någon systematisk genomgång av de andra hälsoeffekter som bullret ibland har mistänkts kunna leda till, t ex hypertension och fosterskador. Avsnitten om lågfrekvent buller och de som behandlar infra- och ultraljud tar dock upp vissa logiska effekter utöver sådana som kan ses som fysiologiska manifestationer av störning.



Figur 1. Den begreppsliga referensram för bullerstörning som används i dokumentet.

Figur 1 ger den begreppsliga referensramen för översikten. Fysikaliska egenskaper som ljudnivå, frekvenskaraktistika och dessa egenskapers förändringar över tid påverkar hur ljudet låter, dess sensoriska kvaliteter, t ex hur starkt det låter. Ljudets fysikaliska egenskaper bestämmer också dess förmåga att maskera andra ljud, och därmed vilken grad av talinterferens som det kan leda till. Både ljudupplevelsen och talinterferensen kan dessutom påverkas av egenskaper hos individen, framför allt av om individen har en hörselskada.

Störningsreaktionerna som de definierats ovan bestäms delvis av de sensoriska kvalitéer som är resultatet av ljudets fysikaliska egenskaper. I stor utsträckning förklaras de dock av andra förhållanden: Psykologiska icke-akustiska ljudegenskaper, situationen och individegenskaper. Talinterferens är en effekt som aktualiseras i många situationer och då ofta blir avgörande för störningsreaktionen.

Kapitel 2 behandlar kritiska fysikaliska egenskaper hos ljudet och hur dessa kan mätas. Kapitel 3 tar upp hur de fysikaliska ljudegenskaperna bestämmer ljudets sensoriska kvaliteter och hur dessa påverkar störningsreaktionen. Kapitel 4 redovisar hur fysikaliska ljudegenskaper och hörselskada påverkar talinterferensen. Kapitel 5 behandlar hur andra förhållanden än ljudets akustiska egenskaper påverkar störningsreaktionen.

Tre ljudtyper har brutits ut och behandlas i särskilda kapitel: lågfrekvent buller (kapitel 7), infraljud (kapitel 8) och ultraljud (kapitel 9). Dessutom behandlas de speciella problem som buller i skolmiljö kan skapa (kapitel 6). I det kapitlet ligger betoningen på hur ljudmiljön kan påverka inläring och prestation.

2. Akustiska mätmetoder och mätstorheter för bedömning av bullerstörningsrisk

Örjan Johansson, Institutionen för arbetsvetenskap, Luleå tekniska universitet

2.1. Introduktion

Buller är ett subjektivt begrepp och definieras som ej önskat ljud. Buller är alltså definitions- mässigt störande och kan lätt identifieras utan hjälp av mätinstrument (Namba 1994). Problemet är att finna en teknisk mätmetod som kvantifierar bullret på ett sätt som gör den användbar för att bedöma risken för störningsreaktioner. Bullerstörning beror på hjärnans tolkning av de akustiska signalerna som når öronen och påverkas därmed av många förhållanden utöver ljudets akustiska egenskaper (Kjellberg Kapitel 5). Signalernas nivå, tidsvariation och frekvensinnehåll har dock stor betydelse för tolkningen.

Bullermätning vid arbetsplatser har två syften. Det ena är att bedöma risk för hörselskada, det andra att bedöma risken för bullerstörning. Bedömningen av bullerstörningsrisken baseras vanligen på mätning av den akustiska karakteristiken hos signalen. Med olika vägningsfilter och tidskonstanter kan ett mätinstrument delvis efterlikna ett öras sätt att registrera ljudtrycksvariationen. Att mäta eller kvantifiera vår uppfattning av ljud är dock mycket svårt. Traditionella mätmetoder bygger på relativt enkla modeller för hörupplevelsen. En avgörande skillnad mellan vårt sätt att uppfatta ljud och ett mätinstrument är skillnaden mellan binaural (två öron) kontra monaural (en mikrofon). Akustiska mätmetoder för noggrannare skattning av bullerstörning kräver dessutom ett psykoakustiskt förhållningssätt (Zwicker och Fastl 1999), vilket innebär att bullret kvantifieras med hjälp av psykoakustiska mätstorheter.

Psykoakustiska mätstorheter är beräknade utifrån ljudtrycksvariationen och avser att beskriva ljudets olika sensoriska kvaliter. Beräkningarna tar hänsyn till hörandets egenskaper avseende tidskonstanter, frekvensberoende, nivåkänslighet, frekvensupplösning samt maskeringseffekter. Psykoakustiska mätstorheter ökar möjligheten till karakterisering av buller och till att kvantifiera ljudegenskaper av betydelse för bullerstörning. Bedömning av bullerstörningsrisk kräver dock vanligtvis att man beaktar mer än en psykoakustisk mätstorhet.

Ett alternativ vid bedömning av bullerstörningsrisk baseras på binaural teknik (Blauert och Genuit 1993, Blauert 1997). Binaural teknik ger möjlighet till mätning och återgivning av bullersignalen som når öronen i den verkliga miljön. Detta innebär att man genom lyssningstest kan göra en direkt jämförelse av olika buller i en neutral miljö.

I detta kapitel beskrivs olika akustiska mätmetoder och mätstorheter som används vid bedömning av risken för bullerstörning. Inledningsvis ges en översikt av traditionellt förekommande mätstorheter (Hassall och Zaveri 1979, ISO 1996-1). Sedan följer en definition av fem olika psykoakustiska mätstorheter, nämligen: *hörstyrka* (*loudness*), *skarphet* (*sharpness*), *råhet* (*roughness*), *fluktuationsgrad* (*fluctuation strength*) och *tonalitet* (*tonality*) (Zwicker and Fastl 1999). Avslutningsvis ges en beskrivning av binaural teknik och ett exempel på hur olika mätstorheter kan tillämpas i förhållande till olika slags buller.

2.2 Traditionell mätteknik

Mätmetoder och mätstorheter inom arbetsmiljöområdet (Bernard 1986) kan indelas i tre huvudgrupper.

- Första gruppen beskriver det för hörseln relevanta energi-innehållet i signalen, exempelvis A-vägd ekvivalent ljudtrycksnivå (L_{Aeq}).
- Andra gruppen relaterar till tidsvariationen i signalen, exempelvis toppnivå hos buller med impulskaraktär.
- Tredje gruppen beskriver frekvensinnehållet i signalen, t.ex. ljudtrycksnivå i respektive oktavband eller tredjedels oktavband.

Avsnitt 2.2 är i huvudsak baserat på användandet av ett precisionsklassat mätinstrument (IEC651) för fältmätning och analys av av buller. Första delen behandlar ljudtrycksnivå och dess variation över tiden, andra delen behandlar frekvensvägning av signalen och tredje delen omfattar frekvensanalys. Mätstorheter som berör talinterferens t ex Artikulations-Index beskrivs i kapitel 4 (Arlinger).

2.2.1. Ljudtrycksnivå och dess variation över tiden

Ljudtrycksnivå är ett logaritmiskt mått på effektivvärdet (rms) av ljudtryckets tidsvariation över en given tidsperiod och uttrycks i dB. Vanliga mätetal är momentan ljudtrycksnivå, ekvivalent ljudtrycksnivå samt SEL (sound exposure level). För att efterlikna örats karakteristik krävs olika korrigeringar av ljudtryckssignalen. I tidsdomänen eftersträvar man en tidskonstant/integrationstid som liknar hörandet, och som delvis tar hänsyn till temporala maskeringsfenomen. I frekvensdomänen vill man att mätinstrumentets känslighet för olika frekvenser ska efterlikna örats känslighet. Vägningfilter baseras på approximationer av inverterade så kallade phon-kurvor, se figur 1 a och 1b samt avsnitt 2.2.2.

Momentan ljudtrycksnivå

Begreppet momentan ljudtrycksnivå relaterar till det värde som avläses från ett direktvisande mätinstrument. Bullernivå kvantifieras vanligtvis med ett dB(A)-värde. "dB(A)" betyder A-vägd ljudtrycksnivå i deci-Bel (dB) och beskriver relationen mellan effektivvärdet av ljudtrycksvariationen (rms) och ett valt referensvärde (hörtröskelnivån), se ekvation 1. Decibel är ett logaritmiskt mätvärde vilket ger bättre överensstämmelse med vår uppfattning av hörstyrka (*loudness*). Momentan ljudtrycksnivå är en relativt bra mätstorhet för kontinuerligt buller, men är ett opraktiskt mätetal om nivån varierar kraftigt över tiden.

$$L_p = 10 \log(p_{rms}/p_o)^2, \quad p_o = 20 \cdot 10^{-6} Pa \quad (1)$$

Ett annat kriterium för ljudtrycksnivå relateras till det högsta rms-värdet över en given tidsperiod. Detta mätetal kallas max värde. Man kan även göra en statistisk analys av rms-nivån över tiden och t ex ange den nivå som endast överskrids 5 % av tiden, dvs 5:e percentilen av ljudtrycksnivån.

Ett klassiskt mätetal som kan ha relevans vid bedömning av bullerstörning relaterat till impulsivt buller är ”Topp-faktor”, som beskriver förhållandet mellan toppvärdet och rms-värdet. Kurtosis-värdet är dock en bättre mätstorhet för karakterisering av impulsbuller (Erdrich 1986). Beräkning av Kurtosis (β) baseras på en statistisk behandling av tidsignalen, se ekvation 2.

$$\beta = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T p^4(t) dt}{\left[\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt \right]^2} \quad (2)$$

Tidskonstanter

Mätning av ljudvariation på ett sätt som liknar örat kräver att instrumentet har korrekt tidskonstant/integrationstid. Tidskonstanten relaterar till hur långa sekvenser som används för att bestämma nivån hos ett ljud. Ett precisionsklassat instrument för ljudmätning har vanligtvis 4 olika tidskonstanter. Slow, Fast, Impuls och Peak. Vanligtvis kan man justera mätinstrumentet för rms- eller toppvärdesmätning (peak). För mätning av icke hörselskadligt buller används i huvudsak rms-detektorn.

För rms-mätning finns tre olika tidskonstanter att välja mellan. Det är ”slow”, ”fast”, samt ”impuls”. För bedömning av bullerstörningsrisk används läge ”fast” som motsvarar 125 ms integrationstid. Denna integrationstid ger en respons som ligger ganska nära den subjektivt upplevda stigtiden som motsvarar ca 100 ms (Fastl 1996). I förhållande till hörseln är detta dock en förenkling, eftersom det inte finns någon generell tidskonstant. Hörandets tidskonstant är frekvensberoende samt beroende av det maskerande ljudets nivå och varaktighet. Dessutom finns det variationer mellan individer.

Läge ”slow” används vid direktavläsning av momentannivån samt i vissa fall för L_{eq} mätning. Tidskonstanten ”impuls” ger en stigtid på 35 ms och en avklingningstid på 1 sekund och är avsedd för att ge bättre skattning av ljudtrycksnivån för impulsbuller. Resultaten är dock svåra att tolka och används därför sällan.

Det största mättekniska problemet är att mäta toppnivå korrekt. I detta fall ställs krav på korrekt tidskonstant, peak-hold funktion samt en mikrofon med tidskonstant < 35 μ s. Mätning av toppnivå är dock ej nödvändigt för bedömning av bullerstörning.

Variabilitet i tid och rum

Ljudnivån i ett rum är positionsberoende, vilket är uppenbart i stora lokaler med en dominerade bullerkälla. Det är även uppenbart att stora variationer över tiden förekommer.

Problemet är hur man tar hänsyn till dessa variationer i tid och rum. Det är vanligt att medelvärdesbildning i tid och rum ger upphov till underskattning av bullernivån. Många studier visar att när ljudnivån varierar kraftigt över tiden är det max-nivån eller den femte percentil nivån som ger bäst överensstämmelse med störningsupplevelsen (Björkman 1989, Widman 1998, Zwicker och Fastl 1999).

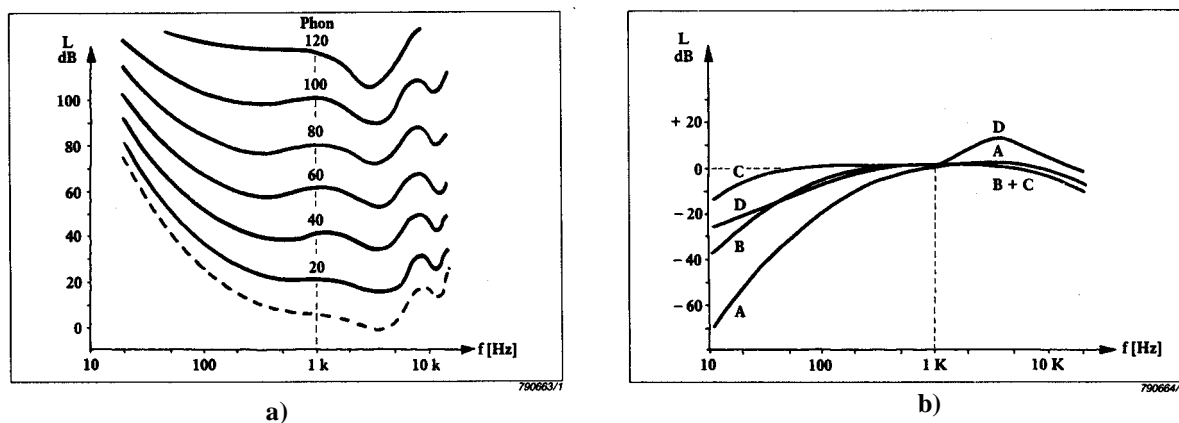
Ekvivalent ljudtrycksnivå, L_{eq}

Den ekvivalenta ljudtrycksnivån är ett medelvärde av ljudtrycksvariationens rms-värde (root mean square) över en given tidsperiod (Ekvation 3). Vanligtvis mäter man en vägd ljudtrycksnivå (relaterad till hörstyrkan) vilket innebär att signalen filtreras/frekvensvägs (vanligtvis A-vägd, L_{Aeq}). När L_{eq} och ljudtrycksnivåns statistiska variation mäts samtidigt måste tidskonstanten "fast" användas.

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_p(t)/10} dt \right) \quad (3)$$

SEL (Sound exposure level) är ett alternativt mått för bedömning av enstaka ljudhändelser med kraftig tidsvariation. Ett SEL-värde definieras som den A-vägd ekvivalenta ljudtrycksnivån för tidsperioden 1 sekund. SEL kan även beräknas utifrån L_{Aeq} mätt över en godtycklig tidsperiod T i sekunder, se ekvation 4.

$$SEL = L_{Aeq} + 10 \log(T) \quad (4)$$



Figur 2.1. a) Lika-hörnivå-kurvor för sinustoner enligt ISO 226 (1966), b) standardiserade vägningskurvor, (Bruel & Kjaer 1986).

2.2.2 Frekvensvägd ljudtrycksnivå

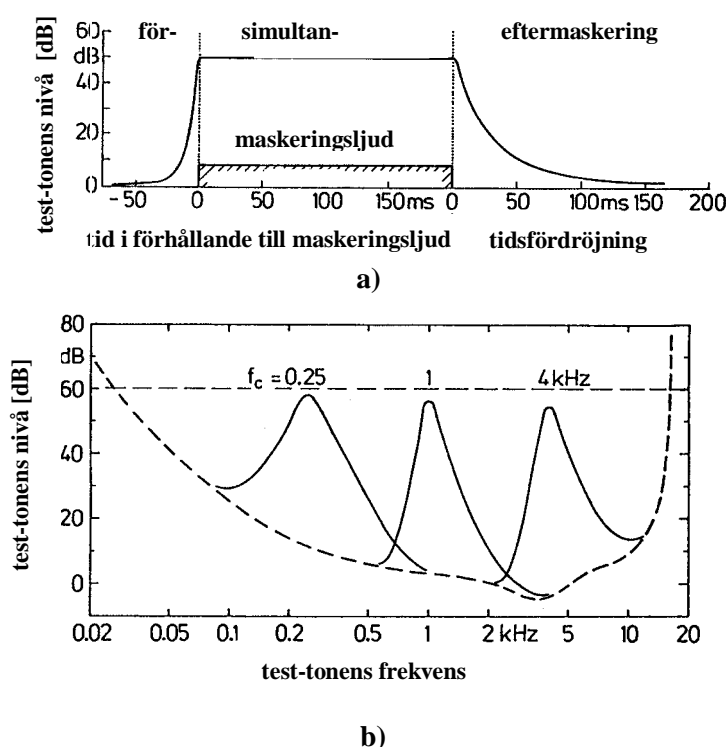
Örats känslighet är frekvensberoende. Förhållandet mellan nivåkänslighet och frekvens beskrivs vanligen med phon-kurvor (lika-hörnivå-kurvor), se figur 2.1.a.

För att ta hänsyn till örats frekvensberoende används olika vägningsfilter, som vanligtvis betecknas A, B, C och D, se figur 2.1.b. A-filtret är vanligast förekommande och har en karakteristik som liknar den inverterade lika-hörnivå-kurvan 40 Phon, se figur 1a. A-filtrets

karaktäristik överensstämmer dessutom väl med mellanörats överföringsfunktion (Pickles 1988).

A-vägning för nivåbestämning av ljud ger dock en väldigt förenklad bild av hörstyrkan. Den viktigaste aspekten med A-vägd mätning är dess goda korrelation med hörselskaderisk. A-vägd mätning av ljudtrycksnivå ger även en relativt god bild av hur störande ljud är, speciellt vid jämförelse av ljud med likartat tidsförlopp och frekvensinnehåll.

Principiellt motsvarar C-vägning en filtrering av signalen som liknar en invertering av lika-hörnivå-kurvan 100 Phon. C-vägd ljudtrycksnivå används bland annat för kvantifiering av lågfrekvent buller. B-vägning relaterar till lika-hörnivå-kurvan 70 Phon men används väldigt sällan. D-vägning är framtagen för kvantifiering av flygbuller. D-vägning innebär att frekvensområdet 2000-10000 Hz ges extra tyngd vid nivåberäkning, vilket relaterar till resonansfenomen i hörselgång och ytteröra.



Figur 2.2. a) Principiell bild av maskeringseffekter i tidsdomänen, orsakat av ett buller med varaktigheten 200 ms. b) Maskeringseffekter i frekvensdomänen av ett band-begränsat brus (lika med den kritiska bandbredden) vid frekvenserna 250, 1000 och 4000 Hz. Maskeringskurvorna visar hur hörseltröskeln, i förhållande till test-tonen, förskjuts av det bandbegränsade bruset. Omarbetad version av figur i Zwicker och Fastl (1999).

2.2.3. Frekvensanalys

Den tredje aspekten vid kvantifiering av buller är beskrivning av signalens frekvensinnehåll. Detta innebär att nivån mäts i standardiserade tersband eller alternativt oktavband (IEC 1260). I speciella fall kan även FFT-analys (smalbandsanalys) förekomma, vilket ger en detaljerad bild av signalens frekvenssammansättning. Tredjedels oktavband är en ganska god approximation av den kritiska bandbredden för frekvenser över 500 Hz, se avsnitt 2.3. Ett

problem med oktav- eller tredjedelsoktavband är att filterkaraktistiken är statisk, medan hörandets tidskonstanter, filterkaraktistik och maskeringseffekter är nivå- och frekvensberoende (Figur 2a & 2b).

Avsikten med oktav- eller tredjedelsoktav-spektrum är att få en uppfattning om signalens frekvensinnehåll samt att detektera eventuella koncentrationer av ljudenergi i enskilda tonkomponenter. En ofta använd tumregel är att när nivån i ett enskilt tersband är 5dB högre än närliggande band kan ljudet antas innehålla rena toner. Tersbandsanalys för att detektera tonkomponenter fungerar ej när dessa ligger i närliggande band.

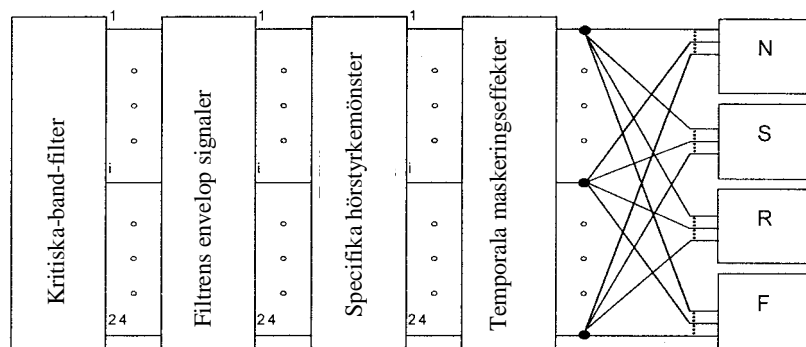
2.3. Psykoakustiska mätstorheter

För att bedöma risken för bullerstörning i arbetslivet med fysiskt mätbara storheter krävs i vissa fall bättre mätmetoder än de som traditionellt används. Zwicker och Fastl (1999) ger en god sammanfattning av den psykoakustiska forskningen inom detta område. Forskningen har utmynnat i olika mätmodeller för att kvantifiera ljuds olika sensoriska kvalitéer, nämligen:

- *Loudness* (hörstyrka),
- *Sharpness* (skarphet),
- *Roughness* (råhet),
- *Fluctuation strength* (fluktuationsgrad),
- *Tonality* (tonalitet).

De psykoakustiska mätstorheterna baseras på modeller av vårt hörande. Detta innebär att hänsyn tas till maskeringseffekter i tids- och frekvensdomänen, samt att tids-, frekvens- och nivåupplösning motsvarar vårt hörande (Blauert, Genuit 1993). En schematisk skiss för mätning av psykoakustiska storheter visas i figur 2.3. Av dessa är endast hörstyrka standardiserad (ISO532B). Svårigheterna att standardisera övriga psykoakustiska mätstorheter är relaterat till valet av tidskonstanter för respektive kritiskt band. Tidskonstanter är av betydelse för beräkning av hörstyrkans tidsvariation (Zwicker 1977, 1984). En arbetsgrupp utsedd av ISO arbetar med standardisering av dessa tidskonstanter (Widman 1998).

Karakterisering av buller måste oftast baseras på kombinationer av olika psykoakustiska mätstorheter, så kallade "annoyance-index". Några exempel är "Un-biased annoyance" (Zwicker and Fastl 1990), "Sensory pleasantness" (Aurell 1985) och "Psychoacoustic annoyance" (Widman 1997). Exempelvis beskrivs Psychoacoustic annoyance (PA) som en kombination av hörstyrka (femte percentilen), skarphet (>1.76 acum), fluktuationsgrad och råhet. Vid beräkning av PA förutsätts att det inte finns rena toner i bullret. Nedan följer grundläggande definitioner av de viktigaste psykoakustiska mätstorheterna.



Figur 2.3. Principskiss för ett instrument som mäter psykoakustiska storheterna: *Hörstyrka* (N), *Skarphet* (S), *Råhet* (R) och *Fluktuationsgrad* (F). Omarbetad version av figur i Widman (1998). Första steget innebär att signalen filtreras i 24 standardiserade kritiska band. I steg 2 bestäms tidsignalens envelop för respektive kritiskt band, vilket bl a används för beräkning av modulationsfrekvens. I steg 3 beräknas hörstyrkemönstret för korta tidssekvenser ca 2ms. I fjärde steget korrigeras specifika hörstyrkans variation över tiden med hänsyn till temporala maskeringseffekter. I sista steget beräknas respektive psykoakustisk storhet.

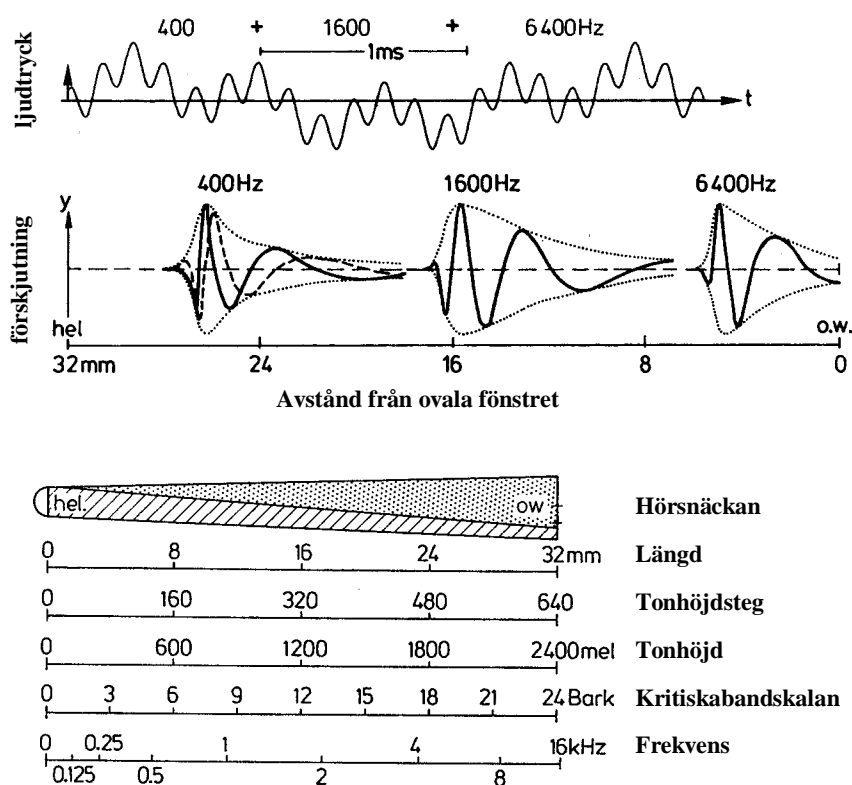
2.3.1. Hörstyrka

En modell för att mäta hörstyrka presenterades av Zwicker 1957. Detta arbete låg till grund för en standardiserad metod för hörstyrkeberäkning (ISO 532B 1965). Standarden är dock begränsad till kontinuerligt ljud. Beräkningen baseras på nivån i tredjedels oktavband och resulterar i ett hörstyrkemönster som beskriver specifik hörstyrkan i standardiserade kritiska band. Ett kritiskt band relaterar till lika långa delar av basilar membranet och motsvarar olika frekvensområden, se figur 2.4. Under 500 Hz är kritiska bandbredden konstant och motsvarar ca 100 Hz. Över 500 Hz är kritiska bandbredden proportionell mot 20 % av centerfrekvensen. Om bandbredden för ett buller överstiger den kritiska bandbredden upplevs det starkare även om den totala ljudtrycksnivån hålls konstant. Kritiska bandbredden motsvarar 1 bark, vilket är enheten för den psykoakustiska frekvensskalan. Specifik hörstyrka har enheten sone/bark och beskriver hörstyrkan för ett kritiskt band. Hörstyrkan motsvaras av arean under kurvan för specifik hörstyrka. Hörstyrka mäts i enheten sone. 1 sone motsvaras av referenssignalen 1 kHz vid 40 dB. Moore och Glasberg (1996) har presenterat en något modifierad metod för hörstyrkeberäkning, vilken framförallt skiljer sig vid beräkning av lågfrekvent buller.

Hörandets frekvensupplösning i förhållande till frekvensmodulation motsvarar ca 4 % av den kritiska bandbredden. Att beskriva hörbara frekvensområdet med 24 kritiska band är dock i många fall fullt tillräckligt. En direkt beräkning av specifik hörstyrka baserat på ljudtrycksnivå är relativt komplex men kan förenklas genom begränsa beräkningen till respektive standardiserat kritiskt band. För stationärt buller beror specifik hörstyrka i hög grad av maskeringsfenomen i frekvensdomänen, se figur 2.2(b). Förutsatt att ljudtrycksnivån inom ett kritiskt band ej maskeras av ljudkomponenter inom något närliggande kritiskt band, beräknas specifik hörstyrka (N') enligt ekvation 5.

$$N' = 0.08 \cdot \left(10^{L_p/10}\right)^{0.23} \left[\left(0.5 + 0.5 \frac{10^{L_p/10}}{10^{L_{TQ}/10}}\right)^{0.23} - 1 \right] \quad (5)$$

Där L_p och L_{TQ} relaterar till ljudtrycksnivån respektive hörtröskelnivån inom det kritiska bandet. I frekvensområden med låg intensitet bestäms den specifika hörstyrkan oftast av maskeringseffekter orsakad av starkare signalkomponenter i närliggande kritiska band. Specifika hörstyrkan (N') faller med ca 27 dB/bark mot lägre frekvenser oberoende av intensitetsnivån. Maskeringseffekten mot högre frekvenser är starkt nivåberoende. Vid låga nivåer faller N' med 30 dB/bark och vid nivåer motsvarande 100 dB faller N' med endast 5 dB/bark.



Figur 2.4. a) Exemplet visar en tidsignal sammansatt av tre sinustoner, 400, 1600 och 6400 Hz, samt hur signalen påverkar av basilarmembranet. **b)** Schematisk skiss av hörsnäckan och dess relation till olika storheter. Modifierad version av figur i Zwicker och Fastl (1999).

2.3.2. Skarphet

Skarphet beskriver skillnaden mellan högfrekvent och lågfrekvent ljudkaraktär. Den mest accepterade modellen för beräkning av skarphet är utvecklad av Bismarck (1974), se ekvation 6. Skarphet betecknas med enheten acum och definierar tyngdpunktsläget för arean under specifika hörstyrkekurvan. I beräkningen ges ljud över 16 bark (3.15 kHz) extra tyngd. En ren ton vid 1 kHz med nivån 60 dB motsvaras av 1 acum.

$$S = 0.011 \frac{\int_0^{24} z \cdot N'(z) \cdot g(z) dz}{\int_0^{24} N'(z) dz}, \quad (6)$$

där, z beskriver positionen längs kritiskabandskalan. $N'(z)$ motsvarar specifik hörstyrka som funktion av kritiskabandskalan och $g(z)$ är en exponentiell funktion som ökar betydelsen av frekvenser över 3.15 kHz.

2.3.3. Råhet

Råhet beskriver skillnaden mellan rå och mjuk ljudkaraktär. En beräkningsmodell för Råhet beskriver graden av amplitud- och frekvensmodulation hos signalen (Aures 1985, Daniel and Weber 1997, Widman and Fastl 1998). Råhet mäts med enheten asper. En snabbt modulerande ljudsignal upplevs som rå snarare än modulerade, eftersom råhet relaterar till modulations-frekvenser inom området 30 till 300 Hz. Råhet är proportionell mot produkten av modulationfrekvensen (f_{mod}) och modulationdjupet (ΔL_E), se ekvation 7. Modulationdjupet (dB/bark) relaterar till excitationnivåns variation i respektive kritiskt band. Vid ca 70 Hz modulationsfrekvens uppnås maximal råhet. 1 asper motsvaras av en 1 kHz ton med nivå 60 dB som är 100% amplitud modulerad med $f_{\text{mod}} = 70$ Hz.

2.3.4. Fluktuationsgrad

Fluktuationsgrad (Fluctuation strength) beskriver skillnaden mellan jämn och fluktuerande ljudkaraktär. En beräkningsmodell för fluktuationsgrad är beskriven av Zwicker och Fastl (1990) och beskriver graden av amplitud- och frekvensmodulation för modulations-frekvenser mellan 1 till 20 Hz. Fluktuationsgraden är beroende av modulationsdjupet (ΔL) och modulationsfrekvensen (Ekvation 8). Vid ca 4 Hz modulation är denna karakteristik mest tydlig. 1 vacil motsvaras av en 60 dB ren ton vid 1 kHz och som är 100% amplitudmodulerad vid 4 Hz.

$$F = 0.011 \frac{\int_0^{24} \Delta L(z) dz}{(f_{\text{mod}}/f_0) + (f_0/f_{\text{mod}})} \quad (8)$$

Där, ΔL motsvarar modulationsdjupet i dB inom respektive kritiskt band med hänsyn till temporala maskeringseffekter, f_{mod} motsvarar modulationsfrekvensen, $f_0 = 4$ Hz och z motsvarar läget längs kritiskabandskalan.

2.3.5. Tonalitet

Tonalitet beskriver upplevd tonkaraktär i en komplex ljudsignal. Tonalitet kan beräknas utifrån teorierna om "spectral pitch" (Terhardt m.fl. 1982), där ton-komponenternas nivå normaliseras utifrån det maskerande ljudets nivå (Aures 1985). Beräkning av tonalitet kan indelas i fyra steg.

Steg 1 innebär att de för hörseln relevanta tonkomponenterna detekteras. Denna procedur baseras på studier av ett modifierat FFT-spektrum som har en upplösning i frekvensdomänen som motsvarar ca 4% av den kritiska bandbredden. Frekvenskomponenter som överstiger

närliggande frekvenskomponenter med mer än 7 dB väljs ut. För dessa frekvenskomponenter beräknas maskeringseffekter. De frekvenskomponenter som ej maskeras är de för örat relevanta tonkomponenterna (f_u).

Steg 2 innebär att de utvalda tonkomponenternas styrka (LX_u) beräknas i förhållande till övriga frekvenskomponenters bidrag inom den kritiska bandbredden.

Steg 3 innebär beräkning och vägning av varje enskild tonkomponents i relation till hörselns känslighet för toner, se ekvation 9. Beräkningen ger en så kallad "Spectral Pitch Weight" (WS_u) för varje tonkomponent. Tonkomponenter vid 700 Hz har störst betydelse.

Steg 4 innebär principiellt att bidraget från de vägda tonkomponenterna summeras och normaliseras i förhållande till signalens icke tonala energi.

$$WS_u = (1 - e^{-LX_u / 15}) \frac{1}{\sqrt{1 + 0.07 \left(\frac{f_u}{700} - \frac{700}{f_u} \right)^2}} \quad (9)$$

Modellen för tonalitet är dock omdiskuterad eftersom upplevelsen av tonalitet varierar från person till person. Graden av tonalitet kan med fördel bestämmas subjektivt (Zwicker, Fastl 1999). En alternativ metod för att bestämma tonalitet är "Prominence ratio" (Nobile och Bienvenue 1991).

2.4. Binaural teknik

Internationellt har forskning kring upplevelse av ljud och buller under senare år allt mer fokuserats mot mätbara parametrar som beskriver karaktären och kvaliteten hos produkters ljud. Ett viktigt verktyg inom detta område är så kallad binaural teknik, vilket innebär att ljud spelas in med ett så kallat konsthuvud (ett syntetiskt huvud med mikrofoner vid öroningångens plats), se figur 2.3.



Figur 2.5. Konsthuvud för binaural inspelning (Head Acoustics, Aachen, Tyskland)

Den viktigaste aspekten med binaural teknik är möjligheten till naturtrogen ljudåtergivning vilket förbättrar möjligheten till direkt jämförelse och rangordning av olika bullermiljöer genom lyssningstest i neutral miljö. Genom lyssningstester kan dessutom nya mätkriterier, för att beskriva hur ljud uppfattas i olika arbetsmiljöer, etableras. Binaural teknik ger även möjlighet till att simulera hur olika förändringar (som t ex bullerdämpande åtgärder typ strukturoptimeringar, bullerskärmar) påverkar ljudupplevelsen. Tekniken medger även att mätparametrarnas tidsförlopp kan studeras samtidigt som signalen avlyssnas, vilket avsevärt underlättar förståelsen av vad som genererar ljudstörningen. För närvarande har dock endast ett fåtal studier med binaural teknik avseende bullerstörning genomförts (Genuit 1997). Ett projekt för utvärdering av tekniken kommer dock att genomföras under åren 2000 och 2001 vid SSAB i Oxelösund.

För att åstadkomma mätresultat jämförbara med standardiserade enkla mikrofonmätningar måste mätsignalen korrigeras (equaliseras). Detta innebär att signalen korrigeras så att konsthuvudets inverkan tas bort. Vanligtvis equaliseras signalerna för fritt fält eller diffust fält. I framtiden kommer dock troligtvis nya mätparametrar att utvecklas utifrån signalen vid öroningången.

Korrekt kalibrering vid binaural ljudåtergivning är en annan mycket viktig aspekt när man gör jämförelser mellan olika ljudsignaler. Dels är det viktigt för korrekt tonal balans dessutom är det viktigt när man gör en direkt jämförelse av olika ljudmiljöer.

Styrkan med binaural teknik ligger i att ljuden kan avlyssnas med bibehållen ljudkvalitet och ljudkaraktär. Vid höga nivåer av lågfrekvent ljud bör ljuden presenteras via högtalare för att innefatta kroppens påverkan som är en del av ljudupplevelsen (Persson-Waye, Kapitel 6). Dessa effekter blir tydliga för frekvenser under 100 Herz. Lyssningstest genomförs i störningsfri miljö med lågt bakgrundsbuller <25 dB(A). Ljuden presenteras via noggrant kalibrerade och speciellt anpassade elektrostatiske hörlurar. En viktig fördel med elektrostatiske hörlurar är dess låga distorsion vid höga nivåer och låga frekvenser.

2.5. Exempel

Avsikten med detta exempel är att visa på hur olika mätmetoder och mätstorheter kan tillämpas för bedömning av bullerstörning. För att belysa olika aspekter av bullers kvantifiering, baseras resonemanget på fem olika typer av signaler. Den första signalen representerar ett bredbandigt kontinuerligt buller med neutral karaktär (rosa brus). Den andra, tredje och fjärde signalen är deterministisk, och representerar buller från olika typer av roterande maskiner. Den andra signalen har en lågfrekvent och modulerande karakteristik. Den tredje har tonkaraktär och den fjärde har en rå karaktär. Den femte signalen har en impulsiv karaktär som kan relateras till enstaka eller långsamt repeterade händelser. Varje ljudsignal har samma ekvivalenta ljudtrycksnivå ($L_{Aeq} = 85$ dB).

Ljuden är inspelade med konsthuvud (Head Acoustics HMS III) och alla fysiska och psykoakustiska mätstorheter är beräknade med mjukvaran Artemis 1.08 (Head Acoustics, Aachen, Germany), utifrån diffus-fält korrigerade signaler. Skillnader i bullerstörning är ej kvantifierad men kan enkelt påvisas vid demonstration.

2.5.1 Resultat och diskussion

För att belysa en del av problemet med A-vägning, jämförs signalernas A-vägda tersbands spektrum (Figur 2.6) med hörstyrkemönstren (Figur 2.7). Skillnaden mellan ett tersbandsspektrum och ett hörstyrkemönster är uppenbar för tonalt och lågfrekvent ljud. Hörstyrkemönstrets variation över tiden ger dessutom en god visuell bild av ljudkaraktären. Den impulsiva liksom tonala och modulerande karaktären syns tydligt i ett sådant diagram. RMS-värdet eller femte percentilen av övriga psykoakustiska storheter kan också användas för att karakterisera buller.

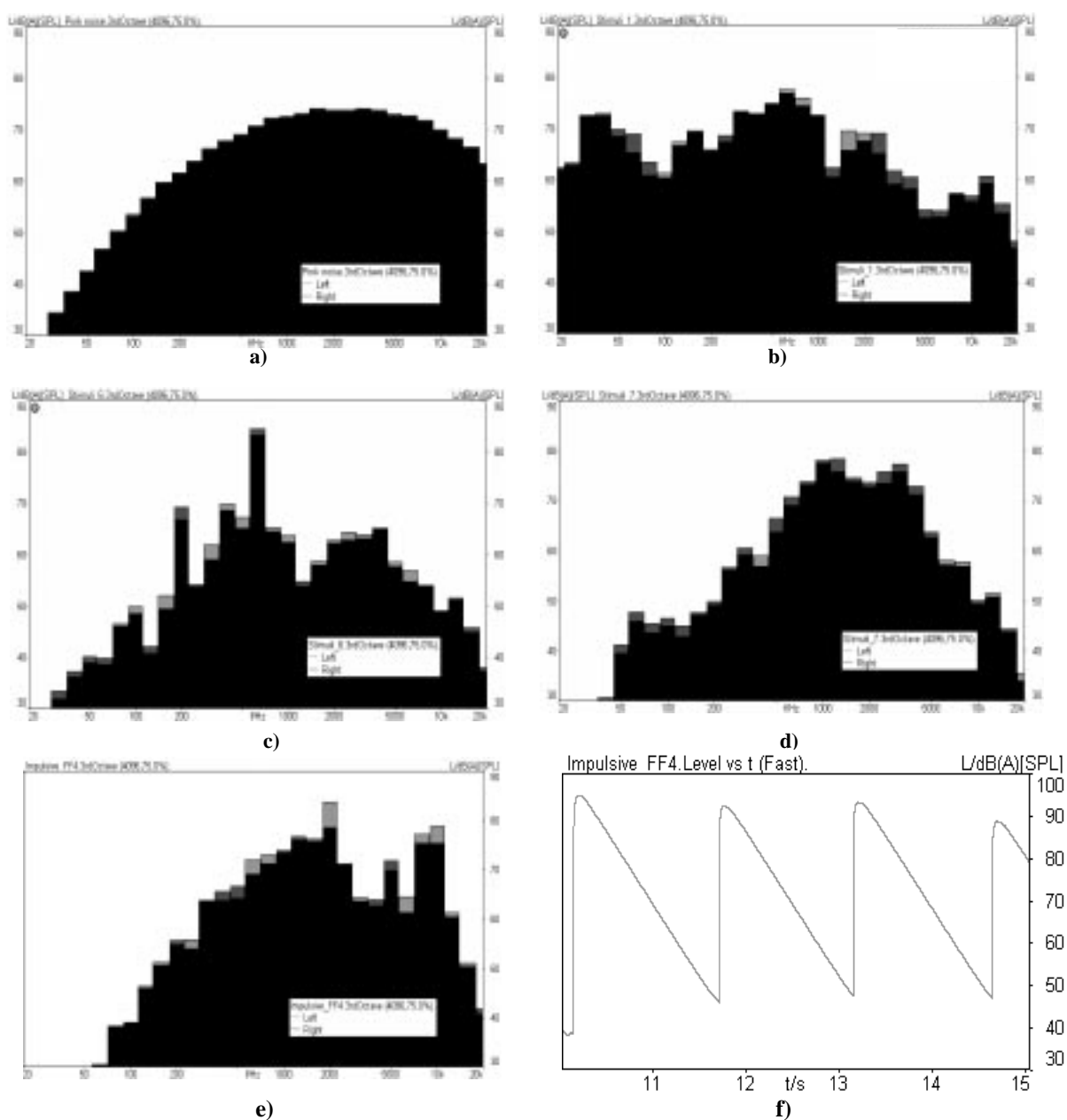
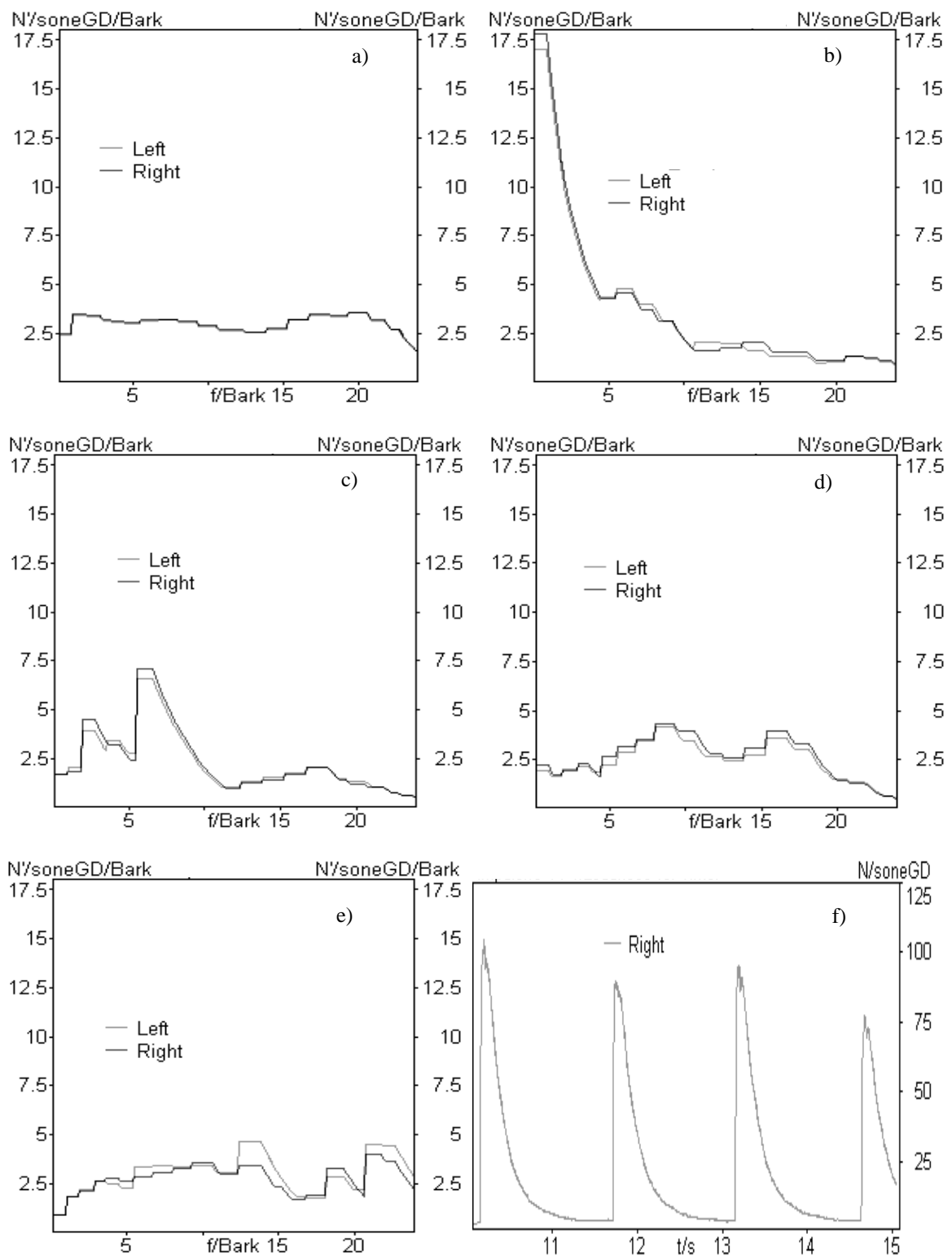


Figure 2.6. A-vägda tersbands spektrum för test signalerna (30 – 90 dB). a) Rosa brus. b) Lågfrekvent buller. c) Kompressorbuller med tonkontakt. d) Dieselmotorbuller. e) Impulsivt buller och f) tidssignalen för impulsivt ljud om integrationstid “fast” används.



Figur 2.7. Specifik hörstyrka för de fem testsignalerna. Arean under kurvan motsvarar total hörstyrka. En fördubbling av arean motsvarar en fördubbling av hörstyrkan. a) Rosa brus. b) Lågfrekvent buller. c) Kompressorbuller med tonkaraktär. d) Dieselmotorbuller. e) Impulsivt buller och f) hörstyrkans variation över tiden för impuls ljudet.

Vid bedömning av bullerstörningsrisk kan testljuden beskrivas enligt följande generella riktlinjer. Rosa brus (Ljud 1) eller annat bredbandigt stationärt ljud beskrivs i huvudsak av hörstyrka (alternativt L_{Aeq}). Variationer i bullerstörning för denna typ av ljud är nästan proportionell mot variationen i hörstyrka. En positiv aspekt är att vid låga nivåer maskerar denna typ av buller svaga men kraftigt tidsvarierande ljud (vilka oftast är mer störande). Lågfrekvent buller (Ljud 2) karakteriseras oftast av hörstyrka och fluktuationsgrad. Det kan även vara nödvändigt att betona det låga värdet i skarphet som indikerar ljudets dova karaktär. Denna typ av ljud ger även en känsla av tryck över kroppen. Tonalt buller (Ljud 3) karakteriseras av hörstyrka och tonalitet. Om tonkomponenterna har hög frekvens måste även skarphet beaktas. Ljud 4 genereras av en dieselmotor i frifält och karakteriseras av hörstyrka och råhet/fluktuationsgrad. Ljud 5 genereras av en hammare som slår mot ett metallstycke och kan karakteriseras av det femte percentil värdet av hörstyrka, skarphet samt fluktuationsgrad.

2.6. Sammanfattning och förslag till nya riktlinjer

Akustiska mätningar vid arbetsplatser används för bedömning av hörselskaderisk och bullerstörning. Traditionella akustiska mätmetoder har begränsad användbarhet för bedömning av bullerstörning. Dessamätmetoder är visserligen baserade på modeller av det mänskliga hörandet, men modellerna är i många fall för enkla. Andra vanliga begränsningar är att man medelvärdesbildar i både tid och rum.

För att mäta på ett sätt som överensstämmer med det mänskliga hörandet är det nödvändigt att använda sig av psykoakustiska mätstorheter. Kapitlet tar upp fem olika psykoakustiska mätstorheter, vilka beräknas utifrån modeller som beskriver ljudets sensoriska kvalitéer. Modellerna tar hänsyn till maskeringseffekter i tid- och frekvensdomän, och har en nivå- och frekvensupplösning i paritet med det mänskliga hörandet.

Att bedöma bullerstörning utifrån psykoakustiska mätstorheter har dock vissa begränsningar. I vissa fall när det finns behov av jämförelser med andra miljöer är det bäst att bedöma graden av bullerstörning i lyssningstest. Detta innebär att ljud mäts/spelas in med ett konsthuvud, där mikrofonerna är placerade vid respektive hörselingång, vilket ger möjlighet till naturtrogen reproduktion av olika buller i en neutral miljö.

Avslutningsvis ges ett exempel på hur olika mätstorheter kan tillämpas i förhållande till olika typer av buller. Detta ger en överblick av hur olika mätstorheter kan användas för att karakterisera och kvantifiera bullerstörning.

För karakterisering av buller är ett enkelt mätvärde som A-vägd ekvivalent ljudtrycksnivå oftast otillräckligt. Detta är uppenbart i fall med lågfrekvent-, tonalt- eller impulsljud. Med hjälp av psykoakustiska mätstorheter ges ökade möjligheter till mer tillförlitliga bedömningar av bullerstörning. I fall då bullret är kontinuerligt och relativt jämt fördelat i frekvensområdet 200 - 4000 Hz ger dock L_{Aeq} en relativt god bild av förväntad bullerstörning. Vid kraftig variation över tiden eller stor positionsberoende variation är det dock nödvändigt att karakterisera signalen med dess percentilvärden, vanligtvis den nivå som överskrids 5% av tiden.

Riktvärden för bullernivåer bör i framtiden baseras på hörstyrka. I fall andra sensoriska kvalitéer som t ex skarphet och tonalitet är dominanta, bör dessutom kraven avseende

hörstyrka skärpas. Alternativt sätts acceptabel hörstyrkenivå till ett givet värde, med krav på att andra psykoakustiska mätstorheter ej överskrider vissa fastställda nivåer. Att mäta hörstyrka bör ske enligt ”Zwickers metod” (Kräver att en modifierad version av ISO532B finns tillgänglig i mätinstrumentet) eftersom det ger en mer korrekt bild av upplevd hörstyrka än dB(A). Den tydligaste skillnaden är att man undviker underskattning av lågfrekvent buller. En annan viktig effekt är att begreppsförvirringen kring dB-mätetalet försvinner, eftersom en fördubbling av mätstorheten hörstyrka motsvarar en fördubbling av upplevd hörstyrka. Dessutom slipper man ta särskild hänsyn till det nivå- och frekvensberoende som föreligger vid mätning av vägd ljudtrycksnivå i dB.

2.7. Referenser

- Aures W (1985) Ein Berechnungsverfahren der Rauigkeit, *Acustica* 58, 268-280.
- Aures W (1985) Ein Berechnungsverfahren für den Sensorischen Wohlklang beliebigen Schallsignale. *Acoustica* 59, 130-141.
- Bernard P (1986) *Environmental noise measurements*, Bruel and Kjaer Technical Review No. 1 pp 3 – 36.
- Björman M (1988) Maximum noise levels in road traffic noise, *J. Sound & Vibration* 127, 583-587.
- Blauert J & Genuit K (1993) Evaluating sound environments with binaural technology-Some basic consideration, *Journal Acoustical Society Japan (E)* 14, 3. Pp 139- 145.
- Blauert J (1997) An introduction to binaural technology, Chapter 28 in R Gilkey and T. Andersson (eds) *Binaural and spatial hearing in real and virtual environments*,. Lawrence Erlbaum Associates.
- Bruel & Kjaer (1979) *Undervisningsmaterial, 320 Sound Level*.
- Daniel P & Weber R (1997) Psychoacoustical roughness: Implementation of an optimized model, *Acustica & Acta Acustica*. 83, 113 – 123.
- Erdreich J (1986) A distribution based definition of impulsive noise, *J. Acoust. Soc. Am.*, 79, 990-998.
- Fastl H (1996) *The psychoacoustics of sound quality evaluation*, EAA Tutorium Aurally Adequate Sound Quality Evaluation, Antwerpen.
- Genuit K & Burkhard M (1997) *Using aurally-equivalent measurement technique for the determination of noise annoyance in work places*, Advances in Occupational Ergonomics and Safety II, IOS Press and Ohmsha.
- Hassall JR & Zaveri K (1979) *Acoustic noise measurements*, 4th edition. Bruel & Kjaer.
- IEC 651 (1979) *Audiometers – Sound level meters*.
- IEC 1260 (1995) *Electro acoustics – Octave-band and fractional-octave-band filters*.
- ISO 226 (1966) *Normal equal loudness contours for pure tones and normal threshold of hearing under free-field listening conditions*.
- ISO 532 B (1966) *Procedure for calculation of loudness level*.
- ISO1996-1 (1995) *Acoustics – Description and measurement of environmental noise – Part 1 Guide to the measurement of acoustical noise and evaluation of its effect on man*.
- Moore BCJ & Glasberg BR (1996) A revision of Zwicker’s loudness model, *Acoustica Acta Acustica* 82, 335–345.
- Möller H (1992) *Fundamentals of binaural technology*, *Appl Acoustics* 36, 171-218.
- Namba S (1994) Noise – quantity and quality, key note speech, *Proc. Inter Noise 94, Yokahama*, 3-22.
- Nobile & Bienvenue (1991) Procedure for determining the prominence ratio of discrete tones in noise emissions, *Proceedings of the Noise Con '91, Tarrytown, New York*.
- Pickles JO (1988) *An introduction to the physiology of hearing*. Academic Press, London.
- Terhardt EG m fl (1982) Algorithm for extraction of pitch and pitch salience from complex tonal signals, *J Acousl Soc Am*. 71, 679-688.
- Von Bismarck G (1974) Sharpness as an attribute of the timbre of steady sounds, *Acustica* 30, 159-172.

- Widman U (1997) A psychoacoustic annoyance concept for application in sound quality, *Proc. Noise Con 97*, 491-496.
- Widman U (1998) Aurally adequate evaluation of sounds, Keynote speech, *Proc. Euro Noise 98*, 29-46.
- Widman U & Fastl H (1998) Calculating roughness using time-varying specific loudness spectra. *Proceedings Sound Quality Symposium*, pp 55 – 60. Ypsilanti, Michigan USA.
- Zwicker E (1958) Über psychologische und metodische Grundlagen der Lautheit. *Acoustica* 8, 237-258.
- Zwicker E (1977) Procedure for calculating loudness of temporally variable sounds. *J. Acoust. Soc. Am.* 62, 675-688.
- Zwicker E (1984) Dependence of post-masking on masker duration and its relation to temporal effects in loudness. *J. Acoust. Soc. Am.* 75, Jan 1984 p 219-223.
- Zwicker E & Fastl H (1990) *Psychoacoustics, facts and models*, Springer Verlag, Berlin.
- Zwicker Z & Fastl H (1999) *Psychoacoustics, facts and models, Second Edition*, Springer Verlag, Berlin.

3. Bullerstörning utifrån bullrets fysikaliska egenskaper

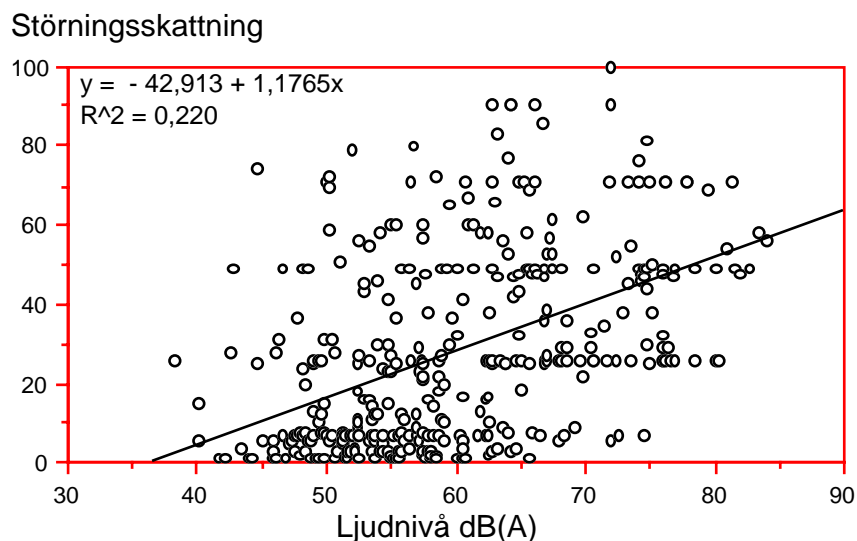
Ulf Landström, Arbetslivsinstitutet, Umeå

Störningsupplevelsen påverkas av bullrets fysikaliska egenskaper men också av en rad kringliggande faktorer. Till de fysikaliska egenskaper som främst påverkar vår upplevelse räknas nivå, frekvenssammansättning, varaktighet och variabilitet.

3.1. Bullernivå

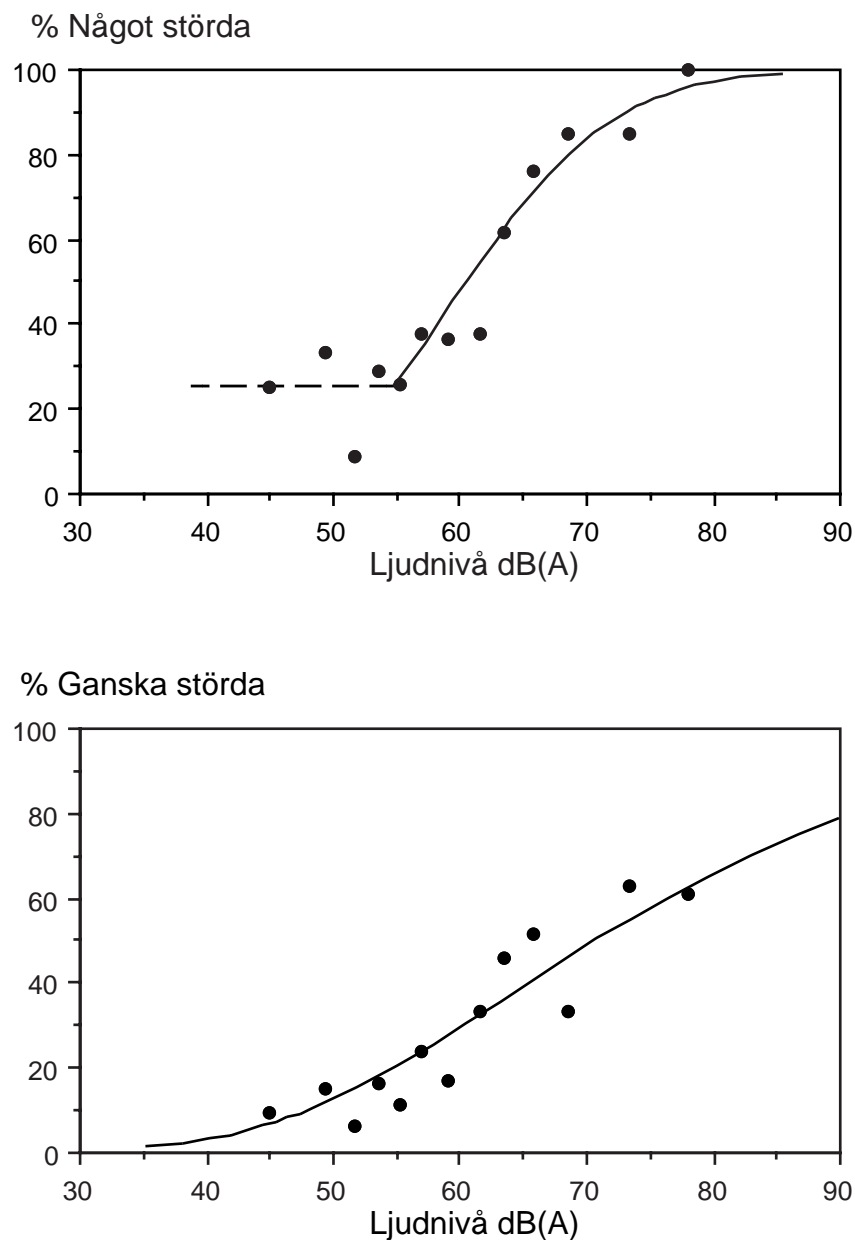
Det reducerade avståndet lika-hörstyrke-upplevelsekurvorna emellan för fallande frekvens (se kapitel 2), innebär att förändringar i ljudtrycksnivå upplevs olika inom olika frekvensband. 10 dB ökning för frekvensen 1000 Hz innebär en fördubbling i upplevd styrka. 10 dB ökning för frekvenser under 100 Hz innebär å andra sidan att ljudet upplevs som 4-5 ggr starkare.

Sambandet mellan bullernivå och bullerstörning har studerats i fältstudier där bullermätningar kombinerats med störningsskattningar. Analyser kring sambandet nivå-störning visar genomgående på låga korrelationer mellan enskilda individers exponeringsnivå och störningsskattningar. Resultatet från en undersökning innefattande ca 400 mätpunkter från olika typer av arbetsplatser och buller, redovisas i Figur 3.1 (Landström m fl, 1992).

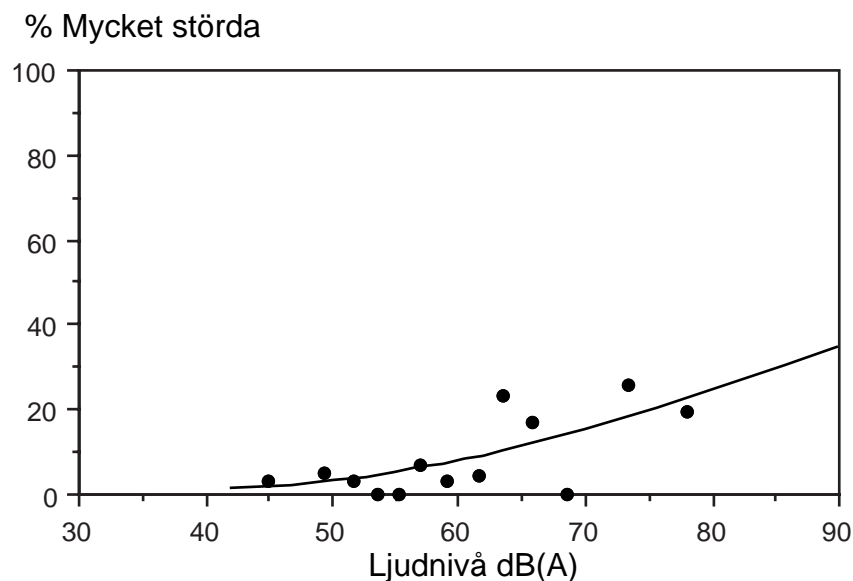


Figur 3.1. Sambandet mellan skattad störningsupplevelse (mm) och exponeringsnivå i dBA (n=439).

Som framgår av denna figur är korrelationen mellan störning och nivå låg, vilket betyder att andra faktorer än bullernivån i dBA påverkar den upplevda störningsgraden. Sambandet tycks inte nämnvärt påverkad ifall nivån uttrycks i dBA, dBB, dBC eller dBD. Störningsgraden ökar som väntat med en höjning av bullernivån. Av undersökningen framgick att 50 procent av de exponerade var något störda vid 60 dBA, 25 procent var ganska störda vid 60 dBA och ca 10 procent var mycket störda vid 60 dBA (Figur 3.2). Dessa tal går dock inte att generalisera till andra grupper eftersom andelen störda vid en viss nivå varierar mellan olika typer av arbetsplatser.

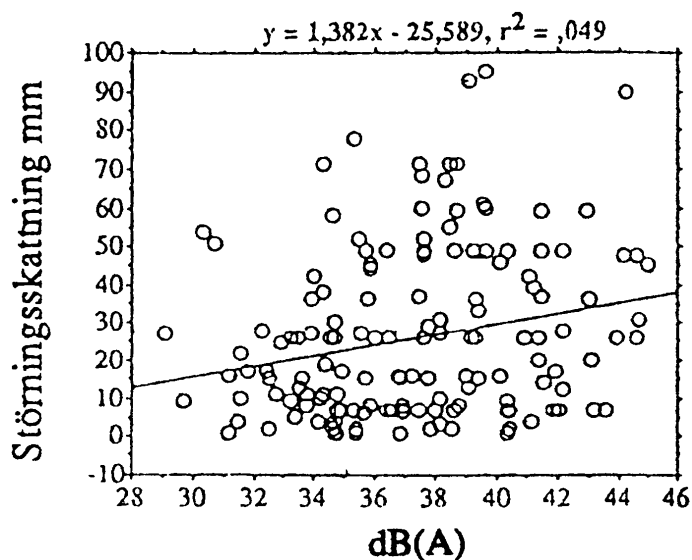


Figur 3.2. Sambandet mellan frekvensen störda (procent) och exponeringsnivåer i dBA (n=439).



Figur 3.2 (forts). Sambandet mellan frekvensen störda (procent) och exponeringsnivåer i dBA (n=439).

Liknande slutsatser kring nivåns betydelse för störningsupplevelse kan dras från fältstudier utförda i lågfrekventa bullermiljöer. Sambandet bullernivå från lågfrekventa ventilationsbuller och upplevd bullerstörning på kontorsarbetsplatser redovisas i Figur 3.3 (Landström m fl, 1991). Den linjära funktionens lutning är ungefär densamma som i föregående studie. Nivån 40 dBA motsvarade en störningsupplevelse *något till ganska störande*, medan nivån 35 dBA A motsvarade en störningsupplevelse *knappast alls till något störande*. Det är notabelt att skillnaden 5 dB i nivå för detta lågfrekventa buller gav en signifikant skillnad i



Figur 3.3. Sambandet mellan skattad störningsgrad och bullernivå i dBA vid exponering för lågfrekvent ventilationsbuller (n=155).

störningsgrad. Förhållandet förklaras av det sätt på vilket en nivåförändring inom det lågfrekventa området påverkar hörstyrkeupplevelsen; ju lägre ner i frekvens desto större effekt av en nivåförändring med avseende på hörstyrke- och därmed störningsupplevelsen.

3.2. Frekvenssammansättning

Som tidigare nämnts ligger de s k lika-hörstyrke-kurvorna närmare varandra inom det lågfrekventa området än i frekvensområdet med bästa höruppfattbarhet vid 4000 Hz. Detta innebär konsekvenser för utvärderingen av störande buller. Hygieniska bedömningar baseras idag huvudsakligen på A-vägda nivåer (se kapitel 2). A-vägningen baseras på en lika-upplevelsekurvan vid en relativt låg nivå, 40 phon-kurvan. Eftersom ljudupplevelsekurvorna ser annorlunda ut för högre nivåer innebär A-vägning en felaktig kvantifiering i dessa fall. dB(A)-värdet riskerar i själva verket att underskatta hörstyrkan och därmed störningsgraden av lågfrekvent ljud, exempelvis trafikbuller eller ventilationsbuller.

Betydelsen av ljudets frekvenssammansättning för störningsupplevelsen utgör utgångspunkt för frågeställningen kring relevansen för olika vägningsalternativ, dvs A-, B-, C- eller D-vägning. Idag finns inga entydiga svar på huruvida något av dessa vägningsalternativ skulle vara att föredra i en utvärdering av störningsupplevelse. Vissa förhållanden kring skillnader mellan högfrekventa och lågfrekventa ljud tycks dock påvisade. I ett antal undersökningar har således påvisats att A-vägningen tycks överskatta störningsupplevelsen för lågfrekventa toner (motsvarande ca 6 dB) men däremot underskatta (motsvarande ca 3 dB) störningsupplevelsen för lågfrekventa bredbandiga exponeringar (Landström m fl, 1993; 1995d). Utfallet från dessa studier kan även tolkas som att exponering för en 1000 Hz-ton skulle vara särskilt störande. Laborativa studier kring lågfrekvent buller har även visat att störningsupplevelsen minskar ju lägre ner i frekvens som tonen placeras i frekvenshänseende (Landström m fl, 1994). För bredbandiga exponeringar finns studier som visar att störningsupplevelsen ökar ju lägre ner i frekvens som bandet placeras i frekvenshänseende (Landström m fl, 1995b). Notera att skillnaderna i störningsupplevelse toner och bredbandiga ljud emellan, överensstämmer med den tonalitetsmodell som redovisats i kapitel 2.

3.3. Bandbreddens betydelse

Felaktiga beskrivningar uppstår även i de fall där dB(A) kvantifierar störningsgraden från rena toner respektive bredbandigt buller. Högfrekventa rena toner upplevs som regel betydligt mer störande än ett bredbandigt buller, likvärdiga bullernivåer till trots.

I studien Landström m fl (1992) genomfördes även en indelning av materialet på ca 400 mätpunkter med avseende på förekomsten av toner i bullret, ingen ton, en ton respektive flera toner. De som exponerades för toner visade sig i alla

grupper skatta sig som mer störda än de övriga. En skärpning motsvarande 5 dB av högsta rekommenderade nivå jämfört med bredbandigt buller kan utifrån dessa data rekommenderas då bullret innehåller toner. Störningsgraden ökade dessutom med antalet toner i bullerspektrat (Landström m fl, 1995 a).

Utfallet med avseende på störningsupplevelse för tonartat rep bredbandigt buller vid 100 respektive 1000 Hz och olika arbetsuppgifter framgår av Tabell 3.1.

Tabell 3.1. Översikt över resultat från laboratorieexperiment avseende störningströsklar för ett 100 och 1000 Hz tonartat respektive bredbandigt ljud under arbete med enkel respektive svår arbetsuppgift. Tabellen visar genomsnittliga inställda ljudtrycksnivåer.

| Arbets- uppgift | 100 Hz | | 1000 Hz | |
|--------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| | Bredbandigt buller | Ton- buller | Bredbandigt buller | Ton- buller |
| Enkel | 67 | 71 | 58 | 37 |
| Svår | 62 | 65 | 53 | 32 |

Som framgår av Tabell 3.1 föreligger en skillnad i toleransnivåer för toner och bredbandigt buller på ca 20 dB inom det högfrekventa området (tonen betydligt mer störande). För det lågfrekventa bullret är skillnaden endast ca 3-4 dB (tonen något mindre störande).

Från en undersökning på försökspersoner, exponerade för ett lågfrekvent buller av olika karaktärer i ett simulerat kontorsrum, framgick att den högsta acceptabla nivån var ca 7 dB högre för bullret med pålagrad ton vid 30 Hz än för de andra bullertyperna utan rena toner (Holmberg m fl, 1993).

Olika förslag har framlagts om hur nivån i ett buller bör korrigeras, för att ta hänsyn till en ökad risk för störningsupplevelse vid närvaro av toner (FAR, 1969; Kryter & Pearson, 1965; Pearson m fl, 1969). Hur stor korrigering, som närvaron av en ton motiverar, bestäms i hög grad av bl a tonens frekvens och nivå, men även av det sammanlagda bullrets spektralsammansättning och totalnivå. Från laboratieförsök har även framkommit att störningsgraden kan påverkas av, om ljudet innehåller en eller flera hörbara toner (Hellman, 1985). Generaliseringen av resultat från denna studie till verkliga arbetssituationer måste naturligtvis göras med försiktighet, eftersom experimentella förhållandena skiljer sig från arbetsautentiska i många avseenden som kan vara kritiska för hur man reagerar på bullret.

3.4. Varaktighet

För alla sinnesintryck krävs en viss minsta stimuleringstid för att maximal upplevelse skall uppstå. Under dessa korta minimitider byggs upplevelsen gradvis upp. För buller gäller integrationstider på ca 0.1-0.5 sekunder. Ett impulsljud som varar 0.05 sekunder upplevs svagare och verkar därför även mindre störande, än ett ljud som varar 0.2 sekunder, även om toppnivån är densamma.

Det sätt på vilket en individ påverkas av en längre tids bullerexponering har förutom relationen till den omedelbara hörselskaderisken, även analyserats utifrån hur hörstyrkan och därmed störningsupplevelsen förändras. Avhängigt bullernivån påverkas hörselorganets hårceller mer eller mindre av en längre tids exponering (adaptation). Hur känsligheten faller med exponeringstiden är inte entydigt beskriven. Enligt Scharf (1978) skulle denna tillvänjning i hårcellerna endast ske vid nivåer strax över hörperceptionströskeln. Enligt Dange (1994) skulle tillvänjningseffekten kunna äga rum även vid nivåer väsentligt över hörperceptions-tröskeln. Störningsupplevelsen skulle på detta sätt kunna reduceras med förlängd exponeringstid.

Reducerad störningsupplevelse skulle även kunna förädlas av den mentala tillvänjningsprocess (habituerings) som leder till minskad uppmärksamhet för ett ljud.

Flertalet laborativa studier ger inga belägg för att störningsupplevelsen försvagas med förlängd exponeringstid. Enligt Little och Mabry (1969) skulle en dubbling av exponeringstiden under 30 sekunder, motsvara en höjning av ljudtrycksnivån med 2 dB. Parry och Parry (1972) visade att motsvarande förändring av exponeringstider skulle motsvara nivåförändringar på mellan 0-6 dB. I studier av Fuller och Robinson (1975) samt Namba och Kuwano (1979) påvisades att störningsupplevelsen ökade med exponeringstider upp mot några timmar. Liknade resultat erhöles i en undersökning av Holmberg m fl 1993. Poulsen (1991) visade å andra sidan att öknings av exponeringstider upp till 30 minuter inte innebar någon utökning av störningsupplevelsen. Antalet fältstudier för att belysa relationen exponeringstid och störningsupplevelse är mycket få och har inte givit samstämmiga resultat. I en studie av Landström m fl (1995c) påvisades en tendens till sänkt störningsupplevelse för kontorsanställda och laborativ personal i de fall där exponeringen utgjordes av högfrekvent buller (buller från utrustning, signalljud, tal etc). För personer verksamma i kontrollrum med dominerande exponering för lågfrekvent buller förelåg å andra sidan ingen förändring i störningsreaktionen under arbetsdagen. Liknade resultat påvisades i en undersökning från 1998.

Studier rörande tillvänjningseffekter över längre tid har genomförts på boendegrupper, där Weinstein i undersökning från 1982 påvisade att de som stördes kraftigt av omgivande buller tenderade att bli än mer störda över tid. I undersökningar på kontorsanställda har påvisats effekter i båda riktningarna. Kjellberg m fl (1992) fann inga tendenser till förändring i bullerstörningsgraden bland kontorsanställda över tid. Hay och Kemp (1978) påvisade å andra sidan för samma yrkesgrupp en sänkning av störningsgraden över tid.

3.5. Variabilitet

Buller som varierar mellan höga och låga nivåer medför mindre risk för hörselskada än kontinuerligt buller vid samma ekvivalenta nivå, förutsatt att ljudet inte når hörselskadliga toppnivåer. Beträffande subjektiva värderingar och störnings-

grad råder snarare det omvända förhållandet. Ett intermittent buller, exempelvis trafikbuller, upplevs vanligen tvärtom som mer störande än ett kontinuerligt buller på samma ljudnivå. Ljud med korta stigtider upplevs som mer störande ju snabbare ljudtrycksnivån stegas. Extremt korta stigtider riskerar att utlösa stressreaktioner.

Ljud som stiger långsamt i nivå och faller snabbt upplevs mer störande än ljud som stiger snabbt och faller långsamt, samma ekvivalenta ljudnivåer till trots.

I översikter över bullerstörning påpekas ofta att intermittenta ljud upplevs som mer störande än kontinuerliga på samma ekvivalenta ljudnivå (Molino, 1979). Systematiska studier av denna effekt är emellertid sällsynta. Moran och Loeb (1977), som utsatte sina försökspersoner som arbetade med olika uppgifter för buller från kontinuerliga eller intermittenta överflygningar, fann att det intermittenta bullret bedömdes vara mycket mer störande. Kuwano m fl (1980) lät sina försökspersoner skatta hur obehagliga eller ”bullriga” (noisy) de upplevde olika kontinuerliga och intermittenta ljud. De fann att varken den maximala eller den equivalenta energinivån kunde predicera hur de intermittenta ljuden upplevdes i förhållande till de kontinuerliga. För att göra detta krävdes att man dessutom tog hänsyn till antalet ljudperioder. Intermittensen i sig tycks alltså ha gjort ljuden obehagligare.

Intermittensens effekt studerades i ett annat laboratorieexperiment (Landström m fl, 1995d) i vilket samma metodik användes som i de två försök som har refererats ovan. Försökspersonerna ställde under olika arbetsuppgifter in störningströsklar dels för ett tonartat intermittent ljud dels för kontinuerligt ljud. I båda fallen användes ett tonartat ljud vid 1000 Hz.

Resultaten visade god överensstämmelse med resultaten från de tidigare försöken vad gäller skillnader i toleransnivåer mellan enkel respektive svår arbetsuppgift. Av undersökningen framgick dessutom att toleransnivåerna för det intermittenta bullret var väsentligt lägre än för det kontinuerliga bullret, speciellt under den svåra uppgiften.

Tabell 3.2. Översikt över resultat från laboratorieexperiment avseende störningströsklar för ett kontinuerligt och ett intermittent 1000 Hz tonartat ljud under arbete med respektive svår arbetsuppgift. Tabellen visar genomsnittliga inställda ekvivalenta ljudtrycksnivåer.

| Arbetsuppgift | Kontinuerlig 1000 Hz ton | Intermittent 1000 Hz ton |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Enkel | 37 | 30 |
| Svår | 32 | 23 |

I en undersökning av Landström m fl (1996) konstaterades att moduleringsfrekvenser i området 2-3 Hz upplevdes som mer störande än såväl högre som lägre moduleringsfrekvenser. Notera att betydelsen av detta frekvensområde står i överensstämmelse med den modell för fluktuationsgrad som redovisats i kapitel 2.

3.6. Sammanfattning

Störningsgraden påverkas av ett antal fysikaliska egenskaper bundna till ljud-exponeringen.

Att störningsgraden ökar vid en förhöjning av bullernivån hos en bullerkälla har påvisats i ett antal laborativa och fältmässiga studier. Undersökningar har dessutom visat att nivåförändringar inom det lågfrekventa bullerområdet ger särskilt påtagliga effekter på förändrad störningsupplevelse. Effekten förklaras delvis av den särskilt starka effekt som nivåförändringar inom det lågfrekventa området ger på förändringar med avseende på hörstyrkeupplevelse. Vid utvärderingar av olika typer av bullerkällor och ljudmiljöer erhålls som regel förhållandevis svaga samband mellan bullernivå och störningsupplevelse. Sambandet bullernivå/bullerstörning påverkas i mycket liten utsträckning av om nivån uttrycks i dBA, dBB, dBC eller dBD.

Störningsupplevelsen för ett ljud har även visat sig påverkat av ljudets frekvens-sammansättning. För toner gäller att störningsgraden för samma ljudnivå minskar ju lägre ner i frekvens som tonen placeras, för bredbandiga ljud gäller motsatsen.

Störningsupplevelsen riskerar att öka för buller innehållande toner. Störningsupplevelsen ökar med antalet toner i bullerspektrat. Högfrekventa toner upplevs som regel betydligt mer störande än bredbandiga ljud, likvärdiga bullernivåer till trots. Lågfrekventa toner upplevs å andra sidan mindre störande än bredbandiga ljud vid samma ljudnivå.

Intermittenta ljud upplevs i de allra flesta fall som mer störande än kontinuerliga. Moduleringsfrekvenser vid 2-3 Hz har visat sig särskilt störande.

Störningsupplevelsen för ett högfrekvent buller kan beroende på tillvänjning, bli lägre efter en tids exponering. Tillvänjningseffekten utvecklas inte på samma sätt för lågfrekvent buller, där störningsgraden således inte förändras nämnvärt över tid.

3.7. Referenser

- Byström M, Landström U & Kjellberg A (1991a) *Effekterna av ljudets frekvens och arbetets karaktär på störningsgraden under bullerexponering – studier av rena toner*. Arbete och Hälsa 1991:4, Solna: Arbetsmiljöinstitutet.
- Byström M, Landström U & Kjellberg A (1991b) *Effekterna av toner och bredbandigt buller på störningsupplevelse vid olika arbetsuppgifter*. Arbete och Hälsa 1991:27, Solna: Arbetsmiljöinstitutet.
- Dange AD, Warm JS, Weiler EM & Dember WN (1994) Loudness adaptation: Resolution of a psychophysical enigma. *The Journal of General Psychology* 20:17-243.
- FAR 36 (1969) *Federal aviation regulation Part 36*.
- Fuller, HC & Robinson DW (1975) *Temporal variables in the assessment of an experimental noise environment*. NPL Acoustics, British A R C, Rept Ac-72.
- Hay B & Kemp MF (1972) Measurements of noise in air conditioned, landscaped offices. *Journal of Sound and Vibration* 23:363-373.
- Hellman RP (1985) Perceived magnitude of two-tone complexes: Loudness, annoyance, and noisiness. *J Acoust SocAm* 77:1497–1504.

- Holmberg K, Landström L & Kjellberg A (1993) Effects of ventilation noise due to frequency characteristic and sound level. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration* 12:115 – 122.
- Kjellberg A, Landström U, Tesarz M, Söderberg L & Åkerlund E (1992) *Betydelsen av icke-fysikaliska faktorer för bullerstörning i arbetet*. Arbete och Hälsa 1992:37, Solna: Arbetsmiljöinstitutet.
- Kryter KD & Pearson KS (1965) Judged noisiness of a band of random noise containing an audible pure tone. *J Acoust SocAm* 38:106-112.
- Landström U, Kjellberg A & Söderberg L (1991) Spectral character, exposure levels and adverse effects of ventilation noise in offices. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration* 14:173-179.
- Landström U, Kjellberg A, Tesarz M & Åkerlund E (1992) *Samband mellan exponeringsnivå och störningsgrad för buller i arbetslivet*. Arbete och Hälsa 1992:42, Solna: Arbetsmiljöinstitutet.
- Landström U, Kjellberg A & Byström M (1993) Acceptable levels of sounds with different spectral characteristics during the performance of a simple and a complex non-auditory task. *J Sound Vibr* 160 (3), 533-542.
- Landström U, Söderberg L, Nordström L & Kjellberg A (1994) Measures against ventilation noise – which tone frequencies are least and most annoying. *Low Freq Noise Vibr* 13 (3), 81-87.
- Landström U, Kjellberg A, Tesarz M & Åkerlund E (1995a) Exposure levels, tonal components and noise annoyance in working environments. *Environ Int* 21 (3), 265-275.
- Landström U, Söderberg L, Nordström B & Kjellberg A (1995b) *Underlag för åtgärder mot ventilationsbuller – vilka frekvensområden av bredbandigt buller är minst och mest störande?* Arbetslivsrapport 1995:13, Solna: Arbetsmiljöinstitutet.
- Landström U, Holmberg K, Kjellberg A, Söderberg L & Tesarz M (1995c) Exposure time and its influence on noise annoyance at work. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration* 10:83-91.
- Landström U, Kjellberg A & Byström M (1995d) Acceptable levels of tonal and broad-band repetitive and continuous sounds during the performance of non-auditory tasks. *Perceptual and Motor Skills* 81:803-816.
- Landström U, Byström U, Kjellberg A & Nordström B (1996) *Störningsupplevelse vid exponering för amplitudmodulerat buller*. Arbetslivsrapport 1996:16, Solna: Arbetslivsinstitutet.
- Landström U, Kjellberg A & Söderberg L (1998) Noise annoyance at different times of the working day. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration* 17:35 – 41.
- Little JW & Mabry JE (1969) Sound duration and its effect on judged annoyance. *Journal of Sound and Vibration* 9:247-262.
- Namba S & Kuwano S (1979) An experimental study on the relation between long-term annoyance and instantaneous judgement of level-fluctuating sounds. In: Czarniecki S (Ed) *Proceeding of Internoise 79*. Inst of Fundamental Technology Research, Polish Acad of Science 1:837-842.
- Parry HJ & Parry JK (1972) The interpretation and meaning of laboratory determinations of the effect of duration on the judged acceptability of noise. *Journal of Sound and Vibration* 20: 51-57.
- Pearsons KS, Bishop DE & Horonjeff RD (1969) Judged noisiness of modulated and multiple tones in broad-band noise. *J Acoust SocAm* 45:742–750.
- Poulsen T (1991) Influence of session length on judged annoyance. *Journal of Sound and Vibration*, 145:217-224.
- Stevens SS (1975) *Psychophysics*. New York: Wiley.
- Scharf B (1978) Loudness. In: Carterette EC & Friedman MP (Eds) *Handbook of Perception*. Academic Press, New York 187-242.
- Weinstein ND (1978) Individual differences in reactions to noise. A longitudinal study in a college dormitory. *Journal of Applied Psychology* 63:458-446.

4. Störning av talkommunikation

Stig Arlinger, Avd för teknisk audiologi, Hälsouniversitetet i Linköping

4.1 Inledning

Fundamentalt för människan som social varelse är definitionsmässigt hennes samvaro och samverkan med andra människor. Häri intar kommunikationen med tal-hörsel en unik position som den kanske viktigaste av alla medmänskliga kontaktformer. För de flesta av oss är den så självklar att vi alltför sällan reflekterar över dess betydelse. Människor som genom sjukdom eller skada helt eller delvis förlorat förmågan att tala eller att höra kan dock omvittna den oerhörda grad av handikapp detta innebär. Temporärt kan vi alla drabbas av störd talkommunikation på grund av buller, starka ljud som helt eller delvis överröstar en talsignal och därmed stör eller omöjliggör talkommunikation. Det är ofta en väsentlig komponent i den störning i form av irritation som buller kan orsaka. För att möjliggöra en ostörd talkommunikation människor emellan är det angeläget för ett civiliserat samhälle att så långt möjligt förhindra sådant buller. Detta gäller både i arbets- och fritidsmiljö, buller från olika transportformer – väg-, järnväg- och flygtrafik – men också från industrier och från en mångfald andra bulleralstrande processer och utrustningar.

4.2 Talsignalen

Talsignalen täcker totalt ett frekvensområde från ca 100 Hz till ca 8 kHz (Tarnoczy, 1971). Talspektrum har sin huvudenergi i lågfrekvensområdet upp till 5-600 Hz med successivt lägre medelenergi vid högre frekvenser. Enskilda talljud karaktäriseras av sina spektrala mönster, som kan vara mycket olika sinsemellan och som också kan variera avsevärt från talare till talare. Intelligande talljud sammanbinds ofta genom kontinuerliga övergångar, formantrtransitioner, som innebär gradvisa förändringar i frekvens och nivå av signalen. Talsignalen innehåller dessutom kortare eller längre avbrott och diskontinuerliga förändringar. Hörselsinnet måste följaktligen som mottagande sinnesorgan för denna signal ha kapacitet att detektera (upptäcka), diskriminera (uppfatta skillnad) och identifiera (känna igen) dessa egenskaper hos talsignalen (Stevens & House, 1972). Man talar om hörselns signalanalysförmåga i form av spektral analys och temporal analys.

Naturligt tal innehåller i varierande grad överskottsinformation, redundans, som möjliggör för lyssnaren att förstå det talade budskapet även om delar av den akustiska talsignalen ej uppfattas. Sådan överskottsinformation ligger i kunskapen om att talljudens akustiska utformning inte kan variera hur som helst, att i ett givet språk förekommer bara vissa talljud och då i ett begränsat antal kombinationer

som är ord, att språkets regler inte accepterar att ord kombineras hur som helst, att i ett givet samtal förväntar man sig vissa ord med större sannolikhet än andra osv (Stevens & House, 1972).

Den C-vägda ljudtrycksnivån från en normal talare är genomsnittligt ca 60-65 dB mätt framför talaren på ca en meters avstånd. Motsvarande A-vägda nivå är ca 55-60 dB. Variationerna runt denna genomsnittsnivå är dock stora i naturligt tal. Ljudnivån hos talljud i olika delar av talspektrum täcker typiskt ett ca 30 dB stort variationsområde.

Ljudnivån avtar med avståndet till talaren. Utomhus med fri ljudutbredning sjunker nivån med ca 6 dB per avståndsdubbling. Inomhus gäller denna princip endast i talarens närfält. På längre avstånd, i rummets efterklangsfält, är ljudnivåns avståndsberoende väsentligt mindre. Var gränsen mellan närfält och efterklangsfält går beror på rummets akustiska egenskaper.

Människans talorgan har ett ganska utpräglat riktningsberoende. Ljudet strålar effektivast framåt, mindre effektivt åt sidorna och sämst bakåt från talaren. Riktningsberoendet är mest uttalat för de talkomponenter som ligger i diskanten men är påtagligt också i lågfrekvensområdet (Tarnoczy, 1971). På nära avstånd är ljudnivån typiskt 3-5 dB lägre vid sidan av talaren och 8-10 dB lägre bakom talaren jämfört med samma avstånd framför.

Trots att olika språk låter mycket olika är dock talsignalens frekvensinnehåll mycket lika från språk till språk (Tarnoczy, 1971; Byrne m fl, 1994). Uppmätta skillnader i medelspektra avviker som mest 4-5 dB i enstaka frekvensband från ett globalt medelspektrum. Olika genomsnittlig ordlängd och andra fonetiska särdrag kan dock ge upphov till skillnader i redundans mellan olika språk, vilket inte språkets medelspektrum förmår återspegla.

Den primära skillnaden mellan mans- och kvinnostämman är stämbandets svängningsfrekvens vid tonande talljud, som för mansstämman vanligen ligger i området 100-150 Hz och för kvinnostämman i området 200-250 Hz. Dessutom uppvisar som regel kvinnostämman något högre energi än mansstämman i det högsta diskantregistret över ca 4 kHz (Byrne m fl, 1994).

Talarens sätt att tala påverkas av den aktuella ljudmiljön. Den allmänna ljudnivån i lokalen och avstånd till lyssnare är två väsentliga faktorer som påverkar talnivån. I ljudnivåer över ca 45 dB A tenderar en talare att försöka kompensera genom att öka talstyrkan (Lombards effekt). Genom att skrika höjer man talets totalnivå med 10-20 dB jämfört med normal röststyrka. Röstens karaktär ändras också genom att energin i mellanfrekvensområdet 1-2 kHz ökas mer än i andra delar av spektrum (Pearsons m fl, 1977). Svagt mumlande tal ligger typiskt 10-15 dB under normal talstyrka (Tarnoczy, 1971).

4.3 Människans hörsel

Grundförutsättningen för ostörd talperception är att talsignalen är hörbar, dvs att talsignalens olika komponenter i talfrekvensområdet har ljudnivåer som överstiger lyssnarens hörtrösklar. Men talperceptionen förutsätter att den perifera delen av

hörselsinnet kan återge med god detaljrikedom talsignalens mikrostruktur, som representerar talljudens olika spektra och de dynamiska förloppen i och mellan talljud. Denna auditiva signalanalys kräver ljudnivåer som ligger åtminstone något-några tiotal dB över hörtröskeln för att fungera optimalt.

Maskering innebär att ett ljud försvårar eller omöjliggör uppfattandet av ett annat ljud. Talmaskering eller talinterferens representerar den specifika situation då mänskligt tal maskeras av ett annat ljud. Maskering är primärt ett simultant problem dvs interaktion mellan två samtidiga ljud. Maskeringen har utpräglade spektrala egenskaper såtillvida att energin i ett visst frekvensområde i talet främst störs av komponenter i störljudet i samma frekvensområde. Detta gäller dock inte renodlat, utan störljudets maskerande effekt sprider sig också utanför det egna frekvensområdet och framför allt uppåt i frekvens (Gelfand, 1981). Denna uppåt-maskering (upward spread of masking) blir mera uttalad vid högre ljudnivå och orsakar att basdominerade ljud av viss ljudnivå stör talkommunikation mera än diskantdominerade ljud av samma ljudnivå.

Maskeringen är primärt men inte helt ett simultant problem. Man kan också tala om temporal maskering, vilket innebär att ett visst ljud kan störa ett annat ljud som presenteras omedelbart före eller efter det störande ljudet (Moore, 1989). Framför allt framåt-maskeringen (forward masking) har praktisk betydelse. I ett normalt öra har den en varaktighet av maximalt något hundratal millisekunder och kan liknas vid en slags fysiologisk efterklang i sinnesorganet. Denna förhållandevis korta efterklang möjliggör hörselns goda förmåga att återge snabba dynamiska förlopp i talsignalen men sätter samtidigt en gräns för hur snabba förändringar som är möjliga att uppfatta.

4.4 Störljudets egenskaper

På grund av talets frekvenssammansättning och maskeringens osymmetriska karaktär är störljudets spektrum av väsentlig betydelse för dess förmåga att störa talkommunikation. En konsekvens av detta är att det är svårt att generellt värdera talmaskeringsgraden hos buller enbart med utgångspunkt i ett bredbandigt ljudtrycksnivåvärde, t ex den A-vägda eller C-vägda ljudtrycksnivån. Avsnitt 4.7 nedan beskriver några olika akustiska metoder för att beräkna inverkan på talkommunikation från ett godtyckligt buller.

Om man utgår från en specifik typ av buller med känt och relativt konstant spektrum är det dock möjligt att ange den högsta acceptabla A- eller C-vägda ljudtrycksnivån. Med utgångspunkt i typiska spektra för buller från gatu-, motorvägs- och järnvägstrafik (Nordtest, 1987) kan man således beräkna att en A-vägd trafikbullernivå på ca 55 dB representerar gränsen för acceptabel talkommunikation. Denna störnivå beräknas ge ca 95 procent taluppfattbarhet för normalt sammanhängande tal på ca en meters avstånd, vilket anses som acceptabelt för fungerande talkommunikation under normala betingelser (ISO/TR3352, 1974).

Många störljud innehåller snabba variationer i nivå. Motsägelsefulla resultat har presenterats med avseende på huruvida detta innebär mindre maskering av tal

(Carhart m fl 1966; Dirks m fl, 1969) eller mera (Carhart m fl, 1975; Danhauer & Leppler, 1979) jämfört med lika starkt störljud utan nivåvariationer. Den minskade maskeringen skulle kunna förklaras av att lyssnaren hinner uppfatta väsentlig information under de tystare intervallen i variationsmönstret. Ökad maskering skulle kunna förklaras av att en del av talsignalens information ligger i dess amplitudvariationer. Om också störbullret innehåller amplitudvariationer av snarlikt mönster kan en extra maskeringseffekt tänkas uppstå, som fysiologiskt skulle kunna förklaras i påverkan på nervceller i hörselbanorna med specifik uppgift att reagera på just amplitudvariationer. Övervägande fakta (Festen & Plomp, 1990; Arlinger & Gustafsson, 1991; Gustafsson & Arlinger, 1993) talar dock för att för lyssnare med normal hörsel störs talkommunikationen mindre av ett störljud med styrkevariationer än av samma störljud på samma ljudnivå utan styrkevariationerna. Hörselskadade lyssnare har däremot inte förmågan att utnyttja de tystare intervallen i störbullret pga försämrad signalanalys i sin skadade hörsel. Med hänsyn till denna grupp finns det därför ingen anledning att ta hänsyn till nivåvariationer i störbullret med avseende på talmaskering.

Som lyssnare kan man ofta tycka att störljud i form av annat tal är mera störande för taluppfattningen än icke-tal, dvs att störljudets eventuella informationsinnehåll skulle påverka talmaskeringen. Flera studier (Dirks & Bower, 1969; Hygge m fl, 1991; Larsby & Arlinger, 1993) med framlänges och baklänges tal som störning visar dock ingen skillnad i talmaskering. Dessa resultat styrker således att störljudets eventuella informationsinnehåll saknar betydelse för graden av talinterferens.

4.5 Talnivåns betydelse för talet och uppfattbarheten

Hörselns signalanalysförmåga är nivåberoende. Vid låga ljudnivåer fångar hörseln ljudsignalens detaljer med sämre precision. För talsignalen gäller dessutom att energifattiga talljud blir ohörbara. Detta inträffar för normalhörande vid talnivåer understigande ca 40-45 dB A. I tysta miljöer förblir taluppfattningen väsentligen konstant när talnivån ökas över den normala. När talsignalen presenteras i buller framträder däremot en negativ effekt av ökande talnivå: Studebaker m fl (1999) har visat att taluppfattningen avtar monotont med ökande talnivå för talnivåer i registret ca 70-100 dB C (dvs ca 65-95 dB A) med signal-stör-förhållanden mellan -4 och 20 dB.

För hörselskadade visade studien en annan bild beroende på att vid normal talnivå var en stor del av talljuden ohörbara, medan vid förhöjd ljudnivå vid gynnsamt signal-störförhållande en ökning av taluppfattbarheten förelåg genom att flera talljud blev hörbara. Vid sämre signal-stör-förhållande (ca 5 dB eller sämre) förelåg en tendens till försämrad taluppfattbarhet vid högre talnivåer.

Resultaten i denna studie kan förklaras med en komplex interaktion mellan talljudens hörbarhet och nivåberoende maskeringskänslighet och förvrängning i hörseln. De visar att en generell höjning av talsignalens styrka inte är en lösning på problem med talinterferens vid höga bullernivåer.

4.6 Rumsakustikens betydelse

Efterklang är en ljudmiljöfaktor som påverkar talkommunikation. Stor efterklang uppstår i ett rum vars gränssytor genomgående är hårda och släta och därigenom uppvisar mycket liten ljudabsorption. Efterklang i ett rum innebär att när en ljudkälla plötsligt stängs av dör inte ljudet ut plötsligt utan gradvis. När en person talar med normal talhastighet i ett rum med lång efterklang hinner inte ett talljud dö ut innan nästa kommer, och följden blir att talljuden kan störa varandra. I synnerhet kan starka vokalljud överrösta efterkommande svagare konsonantljud. Efterklang orsakar således maskering genom att efterföljande ljud maskeras av föregående ljud. Detta innebär att taluppfattning påverkas negativt av efterklang. Om störbuller uppträder i kombination med efterklang är möjligheten till taluppfattning sämre än i samma buller utan efterklang (Nabelek & Nabelek, 1994). Kort efterklangstid är därför generellt önskvärt för bästa möjliga taluppfattning. I konkreta termer innebär detta att efterklangstiden bör vara kortare än 0,8 sekunder för att normalhörande ska ha acceptabla förutsättningar att uppfatta tal i lokaler där samtidigt störande buller förekommer (Yacullo & Hawkins, 1987). Hörsel-skadade är mera känsliga och torde behöva efterklangstider som ej överskrider 0,5 sekunder. I och för sig är ännu kortare efterklangstid positivt men kan innebära nackdelen att ljudnivåerna i rummet blir för låga på lite avstånd från talaren.

En normal reaktion hos talaren för att minska problemen med lång efterklang är att tala långsammare. Detta kan ibland reducera problemet men innebär ofta onaturlig intonation, prosodi.

4.7 Akustiska metoder för beräkning av taluppfattning

Den A- eller C-vägda ljudtrycksnivå för ett störljud är relativt grova mått på ljudets talmaskerande effekt (ISO/TR3352, 1974). En första approximation mot ett bättre mått är den sk talinterferensnivån (Speech Interference Level, SIL) (ISO/TR335, 1974; ISO/CD9921-1, 1991). Talinterferensnivån definieras som det aritmetiska medelvärdet av bullrets oktavnivåer vid 500, 1000, 2000 och 4000 Hz. En talinterferensnivå på ca 50 dB anges möjliggöra acceptabel talkommunikation på drygt en meters avstånd med användande av normal talstyrka. För ett kontinuerligt störljud med ett spektrum som faller med 6 dB/oktav motsvarar detta ca 55 dB A (Webster, 1978).

Artikulationsindex (AI) eller Speech Intelligibility Index (SII) (ANSI S3-5, 1997) är en metod som utvecklades på 40-talet (French & Steinberg, 1947) som bygger på kravet att talsignalen måste ha en viss nivå över störljudet i ett antal frekvensband som är väsentliga för informationsöverföringen. Frekvensområdet från 250 till 7000 Hz delas in i 20 band som vart och ett anses bidra med 5 procent till taluppfattbarheten. Genom att mäta störbullrets nivå band för band och jämföra detta med talsignalens styrkemässiga variationsområde i varje band erhålls ett mått på hur stor del av talsignalen som är hörbar i varje band och därmed kan bidra till att talet uppfattas. Ett artikulationsindex på ca 0,5 anses

motsvara åtminstone 95 procent taluppfattning för normal naturlig konversation, vilket bedöms som acceptabelt (ISO/TR3352, 1974; Webster, 1978). För ett kontinuerligt störljud med ett spektrum som faller med 6 dB/oktav motsvarar detta en SIL-nivå på ca 55 dB och en A-vägd bullernivå på ca 62 dB A.

Taltransmissionsindex (Speech Transmission Index, STI) är en akustisk mät- och beräkningsmetod som utnyttjar en syntetisk mätsignal baserad på intensitetsmodulerat oktavbandsbrus med mittfrekvenser från 125 till 8000 Hz (Steeneken & Houtgast, 1980). Modulationen sker genom sinusformig variation av intensiteten med 14 modulationsfrekvenser i området 0,63-12,5 Hz, vilket motsvarar det område där talsignalens styrkemässiga modulationer återfinns. Denna signal simulerar en talsignal och presenteras via högtalare i den miljö, vars förutsättningar för talkommunikation är under testning. I en miljö med hög störnivå och/eller lång efterklang kommer intensitetsmodulationerna i den signal som fångas upp av en mikrofon i lyssnarposition att vara mindre än i den utsända signalen. Denna reduktion av intensitetsmodulationen är grunden för beräkning av taltransmissionsindex. En förenklad variant av metoden, RASTI (Rapid Speech Transmission Index) finns realiserad som kommersiellt tillgänglig mätutrustning. I denna utnyttjas bara två oktavband, 500 och 2000 Hz, för det utsända brusljudet med vardera fyra respektive fem modulationsfrekvenser för intensitetsmodulationen (Steeneken & Houtgast, 1985). STI- eller RASTI-värden i storleksordningen 0,6 och högre representerar god taluppfattbarhet (Houtgast & Steeneken, 1985). Detta motsvarar AI- eller SII-värden på ca 0,5 (Horrall & Jacobsen, 1985).

Dessa bedömningar innebär sammanfattningsvis att för störbuller med måttligt avtagande spektrum (ca -6 dB/oktav) kan bullernivåer upp till området 55-60 dB A accepteras för normalhörande lyssnare vid samtal på ca 1 meter talar-lyssnar-avstånd. För buller med väsentligt avvikande frekvenssammansättning kan andra gränsvärden för acceptabel taluppfattning råda.

4.8 Inverkan av lyssnarens hörsel

De metoder för mätning eller beräkning av taluppfattning i en bullrig miljö, som diskuterats ovan, utgår från att lyssnaren är ung och normalhörande och att talkommunikationen sker på det språk som är såväl talarens som lyssnarens modersmål. När dessa villkor inte är uppfyllda gäller självfallet inte metoderna.

Storleksordningen tio procent av Sveriges befolkning beräknas ha en hörselnedsättning av sådan grad att den påverkar deras livsvillkor (SCB, 1984). Den överväldigande majoriteten av dessa är sk sensorineurala skador, dvs skador som har drabbat innerörats hårceller och hörselnervens nervtrådar. Konsekvensen av sådana skador är dels försämrad känslighet så att många svaga ljud blir ohörbara, dels förvrängningar i ljudupplevelsen, som beror på störning av hörseln signalanalys (Plomp, 1978; Glasberg & Moore, 1990; Hall m fl, 1988). Dessa störningar i signalanalysen avser bl a försämrad spektral upplösning, frekvensselektivitet. Detta innebär att det skadade örat har svårare att separera olika samtidiga frekvenskomponenter och därmed är sårbarare för maskering. Också den

temporal upplösningen är ofta försämrad, vilket innebär att det skadade örat reagerar trögare och därmed missar snabba förändringar i ljudsignalen. Rent konkret återspeglas dessa förändringar i den beskrivning som de flesta hörselskadade människor ger av sin situation, nämligen att det går bra att höra vad folk säger när det är lugnt och tyst och bara en pratar. Men när det är stimmigt, i trafikbuller på gatan eller i bilen, i matsalen eller kafferummet på jobbet, på fest när många pratar samtidigt kan det vara helt omöjligt att uppfatta talet. Man hör *att* talaren talar men förmår inte uppfatta *vad* han säger.

Den sensorineurala skadan ger således upphov till både kvantitativa och kvalitativa förändringar i hörupplevelsen. Ljudbilden blir annorlunda än den som ett friskt öra förmedlar. Detta beror dels på att främst diskantregistret drabbas av rent informationsbortfall – många diskantljud är helt enkelt inte längre hörbara – men också på att de ljud som är hörbara återges med sämre precision. Ytterligare en faktor som bidrar till en annorlunda hörupplevelse för den hörselskadade beror på det fenomen som kallas ”recruitment”. Detta innebär en abnormt snabb ökning i hörstyrka när ljudnivån ökar. Det friska örat har en dynamik, ett styrkemässigt arbetsområde mellan hörtröskel och obehagligt starkt, som är i storleksordningen 100-110 dB. Ett öra som drabbats av skada i snäckan och därmed sammanhängande recruitment har kanske bara 20-30 dB i dynamik mellan dessa upplevelsegränser.

Det är framför allt hörselnedsättningar i diskanten som orsakar problem med taluppfattning i buller. Smoorenburg i Holland (1992) undersökte en stor grupp relativt unga personer med varierande grad av hörselnedsättning i diskanten orsakad av bullerexponering. Han fann att redan vid en hörselnedsättning så liten som 10-15 dB vid 2 och 4 kHz börjar man kunna se en begynnande försämring i förmågan att uppfatta tal i buller och vid en nedsättning på 30 dB var försämringen statistiskt signifikant. En nedsättning på 50 dB vid 2 och 4 kHz krävde i genomsnitt 5 dB lägre störnivå vid given talnivå för att uppfatta 50 procent korrekt i det taltest han genomförde.

Glasberg och Moore (1990) studerade en grupp med ensidiga hörselskador, där man kunde testa både det friska och det sjuka örat och varje försöksperson således var sin egen kontroll. Vid bestämning av taluppfattning i brus behövde de skadade öronen 5-13 dB högre talnivå än de friska för att uppfatta 50 procent korrekt.

Gustafsson och Arlinger (1993) studerade taluppfattning i buller utan och med amplitudvariationer hos bl a äldre normalhörande och äldre hörselskadade lyssnare. De hörselskadade behövde generellt 11-12 dB lägre bullernivå än de normalhörande för samma prestation. Merparten av denna skillnad beror på försämrad spektral signalanalys. När bullret gjordes amplitudvarierande förbättrades de normalhörandes taluppfattning signifikant vid given tal-bullernivåskillnad medan de hörselskadade inte kunde dra nytta av detta pga försämrad temporal signalanalys.

En liknande holländsk studie (Festen & Plomp, 1990) visade att de hörselskadade behövde ca 5 dB högre talnivå än de normalhörande försökspersonerna när störbullret utgjordes av omodulerat talvägt brus. När störningen utgjordes av tal eller av intensitetsmodulerat brus kunde de normalhörande tolerera en 4-6 dB

lägre talnivå medan de hörselskadade inte kunde tillgodogöra sig styrkevariationerna i störljudet utan krävde oförändrad talnivå för bibehållen taluppfattning.

I en svensk studie av taluppfattning i störbuller som utgjordes av tal med sina naturliga amplitud-varianter krävde hörselskadade försökspersoner i genomsnitt storleksordningen 15 dB större skillnad mellan talnivå och bullernivå jämfört med jämgamla lyssnare med normal hörselfunktion (Hygge m fl, 1991). Vid denna undersökning användes en subjektiv justeringsmetod där lyssnaren själv ställde in talnivån i förhållande till en konstant störnivå så att talet nått och jämnt kunde uppfattas. När störbullret hade bruskaraktär utan styrkevariationer var medelskillnaden mellan hörselskadade och normalhörande ca 7 dB. Att skillnaden var så mycket större med tal som störning beror på att de normalhörande kunde utnyttja de tystare intervallen i den störande talsignalen för att uppsnappa värdefull information. Den rubbade temporala signalanalysen hos de hörselskadade hade däremot berövat dem denna förmåga.

Plomp (1978) uppskattade att för varje 3 dB ökad hörselnedsättning, uttryckt i form av hörtröskel för tal i tystnad, ökade kravet på bättre tal-bullernivåskillnad med 1 dB för bibehållen taluppfattning i buller för den hörselskadade. Senare har denna siffra reviderats och data pekar mot att för varje 7 dB nedsättning behövs 1 dB lägre störnivå (Duquesnoy, 1983).

Vid binaural lyssning, dvs när båda öronen används, är taluppfattningen som regel bättre än vid monaural. Skillnaden kan vara påtaglig när den störande ljudkällan och signalkällan är tydligt åtskilda i rummet. Om däremot störljud och tal kommer från i stort sett samma position är skillnaden mellan monaural och binaural lyssning försumbar. Man kan således inte ange hur stor den binaurala vinsten är i generella termer när det gäller taluppfattning i buller eftersom den är starkt avhängig de aktuella ljudkällornas position i rummet. Binauralt hörande ger dock generellt en säkrare förmåga att snabbt och korrekt identifiera riktningen till en ljudkälla.

Sammanfattningsvis kan vi konstatera att ett stort antal studier visar att en hörselskadad lyssnare kräver 5-10 dB lägre störbullernivå än en normalhörande för motsvarande taluppfattning. I motsats till normalhörande kan de hörselskadade inte dra nytta av styrkevariationer i störbullret utan störeffekten predikteras av dess medelnivå oberoende av modulationsspektrum.

4.9 Inverkan av lyssnarens ålder

Hörselnedsättning är betydligt vanligare hos äldre människor än hos yngre. Detta beror fr a på att den åldersbetingade förändringen i hörsel är mycket vanlig men också på att påverkan på hörseln av yttre faktorer som exempelvis bullerexponering representerar en över tiden ackumulerad effekt. Flera studier tyder emellertid på att åldern i sig tycks ha en mätbar effekt på förmågan att uppfatta tal i buller, dvs att äldre lyssnare med en viss grad av hörselnedsättning har svårare att uppfatta tal i buller än yngre med samma hörselnedsättning. Bilden är dock inte helt entydig (Working Group on Speech Understanding and Aging, 1988).

Poulsen och Keidser (1991) fann ingen skillnad i taluppfattning hos en grupp äldre med medelåldern 65 år och normala hörrösklar jämfört med en ung kontrollgrupp. Testmaterialet utgjordes av enstaviga ord i bärfräs med fyra givna alternativ som skilde sig i begynnelse- eller slutkonsonant eller båda. I den tidigare refererade studien med amplitudmodulerat störbrus (Gustafsson & Arlinger, 1993) behövde däremot de äldre (55-70 år) 6 dB lägre störnivå än de unga försökspersonerna. Av denna skillnad kunde högst 2 dB förklaras av att de äldres hörrösklar var något sämre än de yngres.

En amerikansk undersökning av Dubno och medarbetare (1984) visade att skillnaden mellan äldre (>65 år) och yngre (<44 år) lyssnares taluppfattning i buller påverkades av talmaterialets karaktär. För tvåstaviga testord och meningar med hög förutsägbarhet (redundans) fann de en skillnad på ca 2 dB mellan de båda grupperna. För meningar med låg förutsägbarhet ökade skillnaden till ca 4 dB.

Också Helfer och Huntley (1991) testade äldre (>60 år) och yngre (<32 år) försökspersoner avseende taluppfattning i buller och i efterklang. Deras resultat uttryckt i kvalitativa termer innebär att en del av de ökade svårigheter som de äldre lyssnarna uppvisade inte kunde förklaras av hörselnedsättning. Nabelek och Robinson (1982) fann också en signifikant försvårande effekt från efterklang på taluppfattning hos äldre lyssnare med minimala hörselnedsättningar.

Förklaring till de påvisade fenomenen kan ligga i såväl små åldersrelaterade förändringar i den perifera hörseln signalanalys (Peters & Moore, 1992) som förändringar i centrala kognitiva funktioner (van Rooij & Plomp, 1992). Kunskapen är i många avseenden ofullständig i detta avseende (Working Group on Speech Understanding and Aging, 1988) men faktum kvarstår att åldrandet är en påverkande faktor, framför allt med avseende på förmågan att uppfatta tal i svårare testsituationer, där lyssnaren inte lätt kan gissa på grund av att talmaterialet har låg redundans.

Också i andra änden av åldersspektrum är ålder en faktor att ta hänsyn till. Flera studier har visat att barn har svårare att uppfatta tal i buller än unga vuxna. Elliott (1979) testade förmågan att uppfatta tal i buller hos barn i åldersintervallet 9-17 år och fann att yngre barn presterade sämre än äldre, framför allt vid användning av talmaterial med hög predikterbarhet. Skillnaderna motsvarade ca 2 dB i talbullernivåskillnad. Willeford och Burleigh (1994) presenterar data för central auditiv funktion hos barn i åldern 5-10 år, som visar en med åldern gradvis ökande förmåga att klara dikotiskt meningstest (olika talsignal presenteras samtidigt till vänster respektive höger öra). Marshall och medarbetare (1979) testade barn i åldersintervallet 5-11 år samt unga vuxna med olika tester baserade på försvårat talmaterial. Resultaten visade att elvaåringarna ännu inte nått upp till de vuxnas prestation. En tydlig mognadsprocess förelåg således avseende förmågan att uppfatta försvårat tal, som delvis antas ha lingvistisk grund – talet har mindre lingvistisk redundans för barnet än för den vuxne lyssnaren.

Flera studier har publicerats avseende effekten av efterklang på barns förmåga att uppfatta tal (Nabelek & Robinson, 1982; Neuman & Hochberg, 1983; Bess & Tharpe, 1986; Yacullo & Hawkins, 1987). Yngre barn störs mera än äldre och

barnens prestationer i efterklang är generellt sämre än unga vuxnas. Genom att språkinläringen ännu inte är helt fullbordad hos barnet har talsignalen mindre redundans och därmed störs taluppfattningen lättare av negativa miljöfaktorer som buller.

Sammanfattningsvis föreligger fakta som visar att såväl äldre personer, från 50-60-årsåldern och uppåt, som barn har svårare än unga vuxna att uppfatta tal i buller trots att den perifera hörselfunktionen enligt det konventionella audiogrammet är normalt. Effekten kan beräknas innebära att dessa lyssnare behöver upp till 5 dB lägre störbullernivå för att klara samma prestation som unga vuxna lyssnare.

4.10 Inverkan av språk

De flesta har säkert upplevt hur mycket svårare det är att uppfatta tal på annat språk än det egna modersmålet under svårare lyssnarbetingelser, t ex i buller eller med sämre talkvalitet som via telefonkommunikation. Detta har bekräftats i flera vetenskapliga studier. Bergman (1980) testade taluppfattning med tal i en bakgrund av babbler. Han fann att icke-infödda presterade klart sämre än infödda trots att de icke-infödda hade talat testspråket, hebreiska, i minst 13 år och ansågs behärska det flytande. Hans resultat indikerade också att skillnaden mellan infödda och icke-infödda ökade med lyssnarnas ålder. Abel och medarbetare (1982) testade taluppfattning vid användning av hörselskydd på två grupper av försökspersoner där den ena behärskade språket flytande medan den andra inte gjorde detta. Den senare gruppens taluppfattning låg generellt 10-20 procent sämre än den förras i de olika kombinationer av talnivå, bullertyp och hörselskydd som testades.

I en annan amerikansk studie (Florentine, 1985) testades infödda och icke-infödda i åldersintervallet 21-45 år, där de icke-infödda bott i USA mellan 5 och 16 år och studerade eller undervisade på universitetsnivå. De icke-infödda behövde 3-5 dB lägre störbullernivå än de infödda för att klara samma taluppfattning. En liknande studie som också innefattade icke-infödda universitetsstuderande visade ingen signifikant skillnad i taluppfattning i tystnad (Gat & Keith, 1978). Med brus i bakgrunden uppvisade de icke-infödda en taluppfattning som låg 20-40 procent under de inföddas prestation.

Också efterklang stör icke-infödda mer än infödda (Nabelek & Donahue, 1984; Takata & Nabelek, 1990). I båda studierna låg försökspersonernas medelålder mellan 30 och 35 år. De icke-infödda hade bott i USA i genomsnitt ca 15 respektive ca 7 år. Efterklangstider upp till 1,2 sekunder testades, motsvarande vad som gäller i många undervisningslokaler. Taluppfattningen för de icke-infödda försämrades ungefär dubbelt så mycket som för de infödda när efterklangen introducerades jämfört med helt efterklangsfritt tal.

Under denna rubrik må också beröras språket som talarparameter. Variationer mellan olika normala talare ger upphov till mätbara skillnader i taluppfattning i buller eller efterklang. Nabelek och medarbetare (1992) testade sex olika talare.

För tjugo hörselskadade lyssnare i åldern 50-69 år varierade den genomsnittliga uppfattningsförmågan för vokaler mellan ca 50 och ca 80 procent rätt i bakgrundsbuller eller i efterklang för de olika talarna. Effekten kan förväntas vara större med en talare med brytning eller som begår enstaka grammatiska eller syntaktiska fel och därmed genererar en talsignal som har mindre redundans än den helt korrekta. Detta innebär större svårighet att uppfatta den korrekt under bullriga lyssnarsituationer. Också syntetiskt tal finns skäl att beröra i detta sammanhang. Även det bästa syntetiska tal har lägre redundans än det naturliga och är därmed mera utsatt för den degradering i lyssningsmöjlighet som omgivningsbuller utgör (Working Group on Speech Understanding and Aging, 1988). Några kvantitativa data synes dock inte föreligga.

Sammanfattningsvis är människor som ska uppfatta tal på annat språk än sitt modersmål mera sårbara för buller och efterklang i lyssningsmiljön än infödda lyssnare. Skillnader på upp till 5 dB i krav på lägre störbullernivå har påvisats.

4.11 Inverkan av avläsning

Möjligheten att komplettera den auditiva informationen med visuell, att samtidigt höra och se den som talar, ökar motståndskraften mot störande buller. Den visuella informationen genom munavläsning kan typiskt motsvara 2-3 dB skillnad i störbullernivå (Hawkins m fl, 1988; Hygge m fl, 1991), oberoende av typ av störljud och lika för normalhörande och hörselskadade. Äldre personer har dock svårare att klara rena avläsetest jämfört med yngre (Arlinger, 1991) och också mindre nytta av den samtidiga audio-visuella möjligheten till taluppfattning (Maurer & Rupp, 1979).

4.12 Inverkan av hörselskydd

Flera studier pekar på att normalhörandes användning av hörselskydd i bullrig miljö i försumbar utsträckning påverkar taluppfattbarheten. I enstaka fall kan t o m taluppfattningen förbättras vid bärande av hörselskydd genom att störningen dämpas mer än talet av hörselskyddet (Lindeman, 1976). Förklaringen till detta är alltså att talets hörbarhet främst bestäms av tal-stör-förhållandet som oftast förblir relativt oförändrat innanför hörselskyddet jämfört med utanför (Chung & Gannon, 1979; Abel m fl, 1982). För hörselskadade personer är situationen dock annorlunda (Chung & Gannon, 1979; Abel m fl, 1982). Hörselskyddens dämpning gör att talljud blir ohörbara innanför hörselskyddet i större utsträckning än utanför detsamma och taluppfattbarheten blir lidande av detta. Genom analys av talsignalens frekvensinnehåll, bullrets spektrum och hörselskyddens dämpningsegenskaper kan man visa att hörbarheten för enskilda talljud är den viktigaste faktorn bakom dessa resultat (Wilde & Humes, 1990).

Under senare år har nivåberoende hörselskydd, fr a av elektronisk typ, kommit att användas allt oftare för att möjliggöra talkommunikation i miljöer med mått-

liga bullernivåer. I bullernivåer i registret 70-75 dB kan normalhörande visas ha oförändrad eller ibland något förbättrad taluppfattning jämfört med utan hörselskydd (Arlinger, 1992; Abel m fl, 1993). Hörselskadades prestation försämras däremot av hörselskydden, men försämringen tycks vara mindre med de nivåberoende hörselskydden jämfört med konventionella linjära (Abel m fl, 1993).

Hörselskydd avsedda för talkommunikation via inbyggda hörtelefoner i hörselskydden används också i bullriga miljöer. Hörtelefonerna kan vara kopplade till ett kommunikationsradiosystem, exempelvis i flygplan, helikoptrar eller andra bullriga miljöer med stora krav på säker talkommunikation. Där den yttre bullermiljön innehåller lågfrekvent buller på hög nivå kan den passiva dämpningen i kåporna vara otillräcklig för att säkerställa acceptabel taluppfattning. För sådana situationer erbjuder hörselskydd med s k aktiv bullerdämpning (Active Noise Reduction, ANR) en större dämpning av just det lågfrekventa bullret genom att det elektroakustiska systemet genererar motljöd som delvis förmår släcka ut det lågfrekventa buller som tränger genom kåpan.

Bärande av hörselskydd ger vanligen upphov till påverkan på talarens röststyrka. Röststyrkan sjunker vanligen med 3-4 dB vilket sänker talets hörbarhet och således påverkar negativt talkommunikationen (Howell & Martin, 1975; Hörmann m fl, 1984). Orsaken till detta är att talaren upplever sin egen röst, förmedlad genom skallens vävnader från strupe till inneröron, som starkare genom att hörselgången blockeras eller ytteröröronen innesluts, den s k ocklusions-effekten.

Sammanfattningsvis gäller alltså att för normalhörande har hörselskydd relativt liten påverkan på förmågan att uppfatta tal i buller men för hörselskadade användare av hörselskydd försämras taluppfattningsförmågan väsentligt.

4.13 Förslag till mått och bedömningsgrunder

Ett antal mått med olika för- och nackdelar föreligger för bedömning av bullrets störning av talkommunikation: dB A, dB C, SIL, SII och STI/RASTI. Av dessa torde SII- och STI/RASTI-måtten bäst prediktera taluppfattning. STI/RASTI-måttet kräver emellertid en speciell och sällan tillgänglig mätutrustning. Speech Intelligibility Index, SII, kan beräknas med utgångspunkt i uppmätt bullerspektrum i tredjedelsoktav-(ters-)nivåer. Från dessa mätningar beräknas sedan SII-värdet antingen via datorprogram eller manuellt. Utrustning för mätning av ljudnivåer i dessa tersband är lättare tillgänglig än RASTI-apparatur men torde ändå vara relativt ovanlig inom exempelvis företagshälsovården. SIL-bedömningen kräver mätning av bullret i oktavbandsnivåer vilket möjligen men inte säkert är lättare tillgängligt än utrustning för mätning i tersnivåer. Ljudnivåmätare som möjliggör mätning av A- eller C-vägd ljudtrycksnivå torde däremot vara ganska allmänt spridd. Av dessa två alternativ är den A-vägda ljudtrycksnivån att föredra, eftersom den C-vägda möjliggör bidrag från extrema frekvensområden som ger föga bidrag till talinterferensen. Beräkning av SII baserad på tersbandsnivåer torde således vara det mått som ger bästa underlag för bedömning av talinterferens,

medan A-vägd ljudtrycksnivå är ett mått som är lättare tillgängligt men med sämre noggrannhet för bedömningen.

Tillgänglig kunskap avseende inverkan av samverkande faktorer såsom hörselfunktion, ålder, språk, användande av hörselskydd etc är huvudsakligen uttryckt i form av behov av korrektion i den A-vägda ljudtrycksnivån. Teoretiskt torde det vara möjligt att ta hänsyn till dem också vid bedömning av exempelvis SII, men korrektionen är onekligen lättare att hantera i dimensionen A-vägd ljudtrycksnivå.

4.14 Sammanfattning

Med utgångspunkt i genomsnittligt spektrum för tal gäller att en bullernivå på ca 55 dB(A) ger en taluppfattbarhet av storleksordningen 95 procent för normalt sammanhängande tal, vilket anses acceptabelt för fungerande talkommunikation under nedanstående betingelser. Detta motsvaras approximativt av en talinterferensnivå, SIL, på ca 50 dB och ett Taluppfattbarhetsindex, SII, om ca 0,6 för buller med måttligt fallande spektrum. Betingelserna är:

- avstånd talare - lyssnare ca en meter,
- lyssnaren befinner sig framför talaren,
- lyssnaren har normal hörsel,
- lyssnaren är i åldersintervallet ca 15-55 år,
- talkommunikationen sker på ett språk som är både talarens och lyssnarens modersmål.

När ovanstående betingelser inte är uppfyllda gäller:

- Hörselskadade lyssnare behöver upp till ca 10 dB lägre bullernivå.
- Äldre och yngre lyssnare än angivet intervall behöver upp till 5 dB lägre bullernivå.
- Annat språk än modersmålet (gäller sannolikt även syntetiskt tal) innebär behov av upp till 5 dB lägre bullernivå.

Vissa resultat tyder på synergistisk effekt av efterklang och buller. I princip kan faktorerna hörsel, ålder och språk betraktas som oberoende. Detta innebär att en äldre hörselskadad invandrare kan behöva upp till 20 dB lägre bullernivå för acceptabel taluppfattning.

Cirka tio procent av Sveriges befolkning uppskattas ha hörselnedsättning av sådan omfattning att den har social betydelse. Uppskattningsvis tre fjärdedelar av dessa är över 65 år. Närmare tjugo procent av Sveriges befolkning är över 65 år. Storleksordningen tio procent av befolkningen har annat språk än svenska som modersmål. Totalt berörs storleksordningen en fjärdedel av befolkningen av en eller flera av de begränsande faktorerna hörselnedsättning, hög eller låg ålder samt annat språk än svenska som modersmål.

4.13 Referenser

- Abel SM, Alberti PW, Haythornthwaite C & Riko C (1982) Speech intelligibility in noise: effects of fluency and hearing protector type. *J Acoust Soc Am*, 71, 708-15.
- Abel SM, Armstrong NM & Giguère C (1992) Auditory perception with level-dependent hearing protectors. *Scand Audiol*, 22, 71-85.
- ANSI S3.5-1997 (1997) *American National Standards Methods for the calculation of the Speech Intelligibility Index*. New York: American National Standards Institute.
- Arlinger SD (1991) Results of visual information processing tests in elderly people with presbycusis. *Acta Otolaryngol*, Suppl 476, 143-48.
- Arlinger S (1992) Speech recognition in noise when wearing amplitude-sensitive ear-muffs. *Scand Audiol*, 21, 123-6.
- Arlinger SD & Gustafsson HÅ (1991) Masking of speech by amplitude modulated noise. *J Sound Vibr*, 151, 441-45.
- Bergman M (1980) *Aging and the perception of speech*. Baltimore: University Park Press.
- Bess FH & Tharpe AM (1986) An introduction to unilateral sensorineural hearing loss in children. *Ear and Hearing*, 7, 3-13.
- Byrne D, Dillon H, Tran K, Arlinger S m fl (1994) An international comparison of the long-term average spectrum of speech. *J Acoust Soc Am*, 96, 2108-20.
- Carhart R, Johnson C & Goodman J (1975) Perceptual masking of spondees by combination of talkers. *J Acoust Soc Am*, Suppl. 1, 58, S35.
- Carhart R, Tillman TW & Johnson KR (1966) Binaural masking of speech by periodically modulated noise. *J Acoust Soc Am*, 39, 1037-50.
- Chung DY & Gannon RP (1979) The effect of ear protectors on word discrimination in subjects with normal hearing and subjects with noise-induced hearing loss. *J Am Aud Soc*, 5, 11-16.
- Danhauer JL & Leppler JG (1979) Effects of four noise competitors on the California consonant test. *J Speech Hear Dis*, 44, 354-62.
- Dirks DD & Bower DR (1969) Masking effects of speech competing messages. *J Speech Hear Res*, 12, 229-45.
- Dirks DD, Wilson RH & Bower DR (1969) Effect of pulsed masking on selected speech materials. *J Acoust Soc Am*, 46, 898-906.
- Dubno JR, Dirks DD & Morgan DE (1984) Effects of age and mild hearing loss on speech recognition in noise. *J Acoust Soc Am*, 76, 87-96.
- Duquesnoy AJ (1983) The intelligibility of sentences in quiet and in noise in aged listeners. *J Acoust Soc Am*, 74, 1136-44.
- Elliott LL (1979) Performance of children aged 9 to 17 years on a test of speech intelligibility in noise using sentence material with controlled word predictability. *J Acoust Soc Am*, 66, 651-53.
- Festen JM & Plomp R (1990) Effects of fluctuating noise and interfering speech on the speech-reception threshold for impaired and normal hearing. *J Acoust Soc Am*, 88, 1725-36.
- Florentine M (1985) Non-native listeners' perception of American-English in noise. *Proc. Inter-Noise 85*, pp.1021-24.
- French NR & Steinberg JC (1947) Factors governing the intelligibility of speech sounds. *J Acoust Soc Am*, 19, 90-119.
- Gat IB & Keith RW (1978) An effect of linguistic experience. *Audiology*, 17, 339-45.
- Gelfand SA (1981) *Hearing. An introduction to psychological and physiological acoustics*. New York: Marcel Dekker, Inc.

- Glasberg BR & Moore BCJ (1990) Psychoacoustic abilities of subjects with unilateral and bilateral cochlear hearing impairments and their relationship to the ability to understand speech. *Scand Audiol, Suppl* 12.
- Gustafsson HÅ & Arlinger SD (1993) Masking of speech by amplitude modulated noise. *J Acoust Soc Am*, 95, 518-529.
- Hall JW, Davis AC, Haggard MP & Pillsbury HC (1988) Spectro-temporal analysis in normal-hearing and cochlear-impaired listeners. *J Acoust Soc Am*, 84, 1325-31.
- Hawkins DB, Montgomery AA, Mueller HG & Sedge RK (1988) Assessment of speech intelligibility by hearing-impaired listeners. *Proc. of Noise as a Public Health Problem, Vol.2*. Stockholm: Bygghälsöförsökningsrådet.
- Helfer KS & Huntley RA (1991) Aging and consonant errors in reverberation and noise. *J Acoust Soc Am*, 90, 1786-96.
- Horrall TR & Jacobsen T (1985) *RASTI measurements: demonstrations of different applications*. Copenhagen: Brüel & Kjaer Application Notes.
- Houtgast T & Steeneken HJM (1985) The modulation transfer function in room acoustics. *Brüel & Kjaer Technical Review*, 3-1985, 3-12.
- Howell K & Martin AM (1975) An investigation of the effects of hearing protectors on vocal communication in noise. *J Sound Vibr*, 41, 181-96.
- Hygge S, Rönnberg J, Larsby B & Arlinger S (1991) Normal-hearing and hearing-impaired subjects' ability to just follow conversation in competing speech, reversed speech, and noise backgrounds. *J Speech Hear Res*, 35, 208-15.
- Hörmann H, Lazarus-Mainka G, Schubeius M & Lazarus H (1984) The effect of noise and the wearing of ear protectors on verbal communication. *Noise Control Engng*, 23, 69-77
- ISO/TR3352 (1974) *Acoustics – Assessment of noise with respect to its effect on the intelligibility of speech*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO/CD 9921-1 (1991) *Ergonomic assessment of speech communication – Part 1: Speech interference level and communication distances for persons with normal hearing capacity in direct communication*. Geneva: International Organization for Standardization, TC159 (Draft).
- Larsby B & Arlinger S (1993) Speech recognition and just-follow-conversation tasks for normal-hearing and hearing-impaired listeners with different maskers. *Audiology*, 33, 165-176.
- Lindeman HE (1976) Speech intelligibility and the use of hearing protectors. *Audiology*, 15, 348-56.
- Marshall L, Brandt JF, Marston LE & Ruder K (1979) Changes in number and type of errors on repetition of acoustically distorted sentences as a function of age in normal children. *J Am Aud Soc*, 4, 218-25.
- Maurer JF & Rupp RR (1979) *Hearing and aging: tactics for intervention*. New York: Grune & Stratton.
- Moore BCJ (1997) *An introduction to the psychology of hearing, 4th ed*. London: Academic Press.
- Nabelek AK, Czyzewski Z & Krishnan LA (1992) The influence of talker differences on vowel identification by normal-hearing and hearing-impaired listeners. *J Acoust Soc Am*, 92, 1228-46.
- Nabelek AK & Donahue AM (1984) Perception of consonants in reverberation by native and non-native listeners. *J Acoust Soc Am*, 75, 632-34.
- Nabelek AK & Nabelek IV (1994) Room acoustics and speech perception. In: Katz J.ed. *Handbook of clinical audiology, 4th ed*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Nabelek AK & Robinson PK (1982) Monaural and binaural speech perception in reverberation for listeners of various ages. *J Acoust Soc Am*, 71, 1242-48.
- Neuman AC & Hochberg I (1983) Children's perception of speech in reverberation. *J Acoust Soc Am*, 73, 2145-49.

- Nordtest Method NT ACOU 061 (1987) *Windows: Traffic noise reduction indices*. Esbo, Finland: Nordtest.
- Pearsons KS, Bennet RL & Fidell S (1977) *Speech levels in various noise environments*. Bolt, Beranek and Newman, BBN Report No. 3281.
- Peters RW & Moore BCJ (1992) Auditory filter shapes at low center frequencies in young and elderly hearing-impaired subjects. *J Acoust Soc Am*, 91, 256-66.
- Plomp R (1978) Auditory handicap of hearing impairment and the limited benefit of hearing aids. *J Acoust Soc Am*, 63, 533-49.
- Poulsen T & Keidser G (1991) Speech recognition in young and elderly normal-hearing listeners in a closed response test. *Scand Audiol*, 20, 245-49.
- van Rooij JCGM & Plomp R (1992) Auditive and cognitive factors in speech perception by elderly listeners. III. Additional data and final discussion. *J Acoust Soc Am*, 91, 1028-33.
- SCB (1984) *Handikappade. Levnadsförhållanden*. Stockholm: Statistiska centralbyrån.
- Smootenburg GF (1992) Speech reception in quiet and in noisy conditions by individuals with noise-induced hearing loss in relation to their tone audiogram. *J Acoust Soc Am*, 91, 421-37.
- Steeneken HJM & Houtgast T (1980) A physical method for measuring speech-transmission quality. *J Acoust Soc Am*, 67, 318-26.
- Steeneken HJM & Houtgast T (1985) RASTI: a tool for evaluating auditoria. *Brüel & Kjaer Technical Review*, 3-1985, 13-30.
- Stevens KN & House AS (1972) Speech perception. In: Tobias JV ed. *Foundations of modern auditory theory Vol II*. New York: Academic Press.
- Studebaker GA, Sherbecoe RL, McDaniel DM & Gwaltney CA (1999). Monosyllabic word recognition at higher-than-normal speech and noise levels. *J Acoust Soc Am*, 105, 2431-44.
- Takata Y & Nabelek AK (1990) English consonant recognition in noise and in reverberation by Japanese and American listeners. *J Acoust Soc Am*, 88, 663-66.
- Tarnoczy T (1971) Das durchschnittliche Energie-Spektrum der Sprache. *Acoustica* 24, 57-74.
- Webster JC (1978) Speech interference aspects of noise. In: Lipscomb DM ed. *Noise and audiology*. Baltimore: University Park Press.
- Wilde G & Humes LE (1990) Application of the articulation index to the speech recognition of normal and impaired listeners wearing hearing protection. *J Acoust Soc Am*, 87, 1192-9.
- Willeford JA & Burleigh JM (1994) Sentence procedures in central testing. In: Katz J. *Handbook of clinical audiology*, 4th ed. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Working Group on Speech Understanding and Aging (1988) Speech understanding and aging. *J Acoust Soc Am*, 83, 859-95.
- Yacullo WS & Hawkins DB (1987) Speech recognition in noise and reverberation by school-age children. *Audiology*, 26, 235-46.

5. Betydelsen av icke-akustiska förhållanden och individuella skillnader

Anders Kjellberg, Arbetslivsinstitutet, Solna

5.1 Den relativa betydelsen av akustiska bulleregenskaper och andra förhållanden

En lång rad undersökningar av bullerproblem i bostadsområden har visat att genomsnittliga störningsnivåer och andelen som anger sig vara mycket störd av buller relativt väl låter sig förutsägas från gruppens genomsnittliga exponeringsnivå (Kryter, 1994). Däremot har bara en mycket liten del av de individuella skillnaderna i störningsreaktioner visat sig kunna förklaras av skillnader i exponeringsnivå (Griffiths m fl, 1968; McKennell, 1963). Motsvarande studier i arbetsmiljöer är sällsynta, men resultaten pekar i samma riktning. Kjellberg m fl (1996a) rapporterade bullermätningar och skattningar av störning under mätperioden från en grupp med representanter för många typer av arbetsplatser, där alla hade en exponeringsnivå under 85 dB(A). De fann att endast 23 procent av variansen ($r=0,48$) inom gruppen kunde förklaras av skillnaderna i B-vägd ljudtrycksnivå under mätperioden. Landström m fl (1992) analyserade undergrupper inom detta material och fann att ljudtrycksnivån inte ens förklarade en statistiskt signifikant andel av variansen i kontorsgruppen, där variationsvidden i ekvivalent ljudtrycksnivå var mycket begränsad.

De svaga sambanden kan till viss del förklaras av reliabilitetsbrister i både störnings- och ljudnivåmätningarna och bristande representativitet i valet av mätperioder. Detta framgår av att Kjellberg m fl (1996) fann att korrelationen sänktes till 0,29 ($r^2=0,08$) då ljudtrycksnivån under mätperioden relaterades till en allmän bedömning av hur störd man var av bullret på arbetsplatsen. Andelen varians som förklarade av ljudtrycksnivå sjönk alltså från till 23 till 8 procent. Detta var troligen ett resultat av att mätperioden trots ansträngningar inte var representativ för den normala bullermiljön och av att en skattning av störning i allmänhet blir mindre reliabel än en skattning av störningen under en väldefinierad och ur bullersynpunkt relativt homogen period. Det uteblivna sambandet mellan nivå och störning i kontorsgruppen pekar på ett annat förhållande som påverkar det relativa bidraget från de akustiska och icke-akustiska förhållanden för störningsreaktion i en viss grupp. Ju mindre variation som finns inom gruppen i det ena avseendet, desto större relativt förklaringsvärde kommer det andra att få. Därför kan inget generellt sägas om de akustiska och icke-akustiska egenskapernas relativa betydelse. Landströms m fl (1992) resultat att 25 procent kan hänföras till den frekvensvägda ljudtrycksnivån är dock förmodligen tämligen representativt för dessa förhållandens relativa betydelse i arbetsmiljön i stort. Andra akustiska bulleregenskaper än den frekvensvägda ljudtrycksnivån skulle säkerligen kunna

öka andelen förklarad varians. Det är dock troligt att icke-akustiska förhållanden och skillnader i bullerkänslighet har en ännu större betydelse.

5.2 Kritiska icke-akustiska förhållanden

Forskningen kring hur andra förhållanden än bullrets akustiska egenskaper påverkar störningsreaktionen har en relativt liten omfattning. Den forskning som finns har dessutom till helt övervägande del gällt trafik- och flygbullerproblem i bostadsområden, och har endast i enstaka studier behandlat bullerproblem på arbetsplatser. Studierna från bostadsområden kan inte användas för att dra slutsatser om hur stora effekterna av dessa faktorer är i arbetslivet. Vissa möjligheter finns dock att utifrån dessa studier bedöma om en viss faktor kan förväntas vara av betydelse för störningsreaktionen. Även laboratorieexperiment kan belysa dessa effekter och i begränsad utsträckning även säga något om deras förväntade styrka på en arbetsplats.

För att hänsyn ska kunna tas till de icke-akustiska förhållandena skulle deras effekt på störningsreaktionerna idealt sättas i relation till ljudnivåns effekter, dvs beräkningar skulle göras av hur mycket ljudnivån skulle behöva höjas för att uppnå samma effekt som av den icke-akustiska variabeln. Endast i ett fåtal studier (Kjellberg m fl, 1991; 1996a) har försök gjorts att på detta sätt uttrycka de icke-akustiska egenskapernas subjektiva effekter i ljudnivåtermer. Därutöver har man i några experimentella studier mätt störningströsklar under olika betingelser, t ex olika arbetsuppgifter (Bryan m fl, 1976; Landström m fl, 1993; 1995).

De icke-akustiska bulleregenskaper som det finns något empiriskt material att bygga en bedömning på är bullrets informationsinnehåll, dess förutsägbarhet och kontrollerbarhet och dess upplevda oönsklighet. Andra tänkbart kritiska icke-akustiska förhållanden är attityden till bullerkällan och till andra aspekter av arbetsmiljön, samt den pågående aktiviteten. Vanligen finns endast data om hur dessa förhållanden påverkar den subjektiva reaktionen på bullret, men i några fall finns även studier av prestationseffekter. Ännu mer sällsynta är psykofysiologiska data.

I första hand utgår redovisningen från arbetsplatsstudier, men där så bedöms vara befogat hänvisas också till studier från bostadsområden och laboratorieexperiment.

5.2.1 Informationsinnehåll

Subjektiva reaktioner

Ovidkommande tal är ett av de mest framträdande bullerproblemen på många arbetsplatser, framför allt kontorsarbetsplatser (Boyce, 1974; Brookes, 1972; Landström m fl, 1992; Nemecek m fl, 1973a; 1973b).

Kjellberg m fl (1996a) bildade två subjektiva index på basen av en faktoranalys, störning och distraktion, där distraktionsindexet bildades av frågor som hade med bullrets effekt på arbetsprestationen att göra. Störningsindexet bildades bland

annat av en störningsskattning och av att mått på hur man i sitt beteende och med åtgärder visat att man var besvärad av bullret. Ovidkommande tal, liksom telefonsignaler, visade sig framför allt påverka distraktionsskattningarna.

Ljudnivån har visat sig ha ett mycket svagt samband med störningsreaktionerna på tal (Nemecek m fl, 1976; 1978a). Snarare förefaller möjligheten att uppfatta talet att bestämma hur störande det upplevs. Ett maskerande bakgrundsljud skulle därigenom kunna tänkas vara gynnsamt ur störningssynpunkt. Detta är motivet till att man i vissa kontorslokaler har installerat ett artificiellt maskeringsljud ("sound conditioning"). De studier som rapporterats tyder dock på att de ljud som är effektiva ur maskeringssynpunkt i sig oftast upplevs som oacceptabelt störande (Keighley m fl, 1979; Warnock, 1973). I de fall där man sägs ha uppnått goda effekter rapporteras ingen systematisk utvärdering av de anställdas reaktioner (Völker, 1978; 1979).

I en experimentell studie (Kjellberg & Sköldström, 1991) skattade försökspersonerna hur störda de var av tal och ett brusljud med samma ljudnivå under det att de arbetade med olika arbetsuppgifter. Störningsgraden visade ingen genomgående skillnad mellan de två ljudbetingelserna, utan var beroende av vilken uppgiften var. Under korrekturläsning var man mer störd av talet än av bruset, medan skillnaden gick i motsatt riktning under en enkel reaktionstidsuppgift. Slutsatserna om talets relativa störningseffekter kompliceras ytterligare av ett försök av Bryan och Tolcher (1976) där försökspersoner som ägnade sig åt huvudräkning ställde in acceptabla nivåer av olika typer av ljud. Den acceptabla nivån för samtal (med hög bakgrundsnivå och bara delvis uppfattbara) låg 16 dB högre än motsvarande nivå för vitt brus (66 resp 49 dBA).

Även andra ljud än tal kan bära information som gör dem mer eller mindre acceptabla. Det kan av ljudet t ex framgå om det är något fel på en maskin. Detta kan göra ljudet mer besvärande, men för den som ansvarar för maskinen blir ljudet också en viktig varningssignal för att någon störning i arbetsprocessen föreligger. Ingen systematiskt insamlad empiri har rapporterats om sådana effekter.

Prestation

Informationsinnehållets betydelse för störningsreaktionen har prövats genom att jämföra effekten på prestation av begripligt tal med tal på ett okänt språk. Sådana jämförelser har gjorts vad gäller läsförståelse, och de visar att det begripliga talet har större negativ effekt (Jones, 1990).

Slutsatser

Ovidkommande tal är på många arbetsplatser det största ljudmiljöproblemet, i första hand då arbetsuppgifterna kräver att man hanterar verbal information. Störningseffekten är inte linjärt relaterad till ljudtrycksnivån, utan har mer med möjligheten att uppfatta talets innehåll att göra och är dessutom beroende av arbetsuppgiften.

5.2.2 Förutsägbarhet och kontrollerbarhet

Inom stressforskningen har man upprepade gånger visat att oförutsägbara och okontrollerbara händelser är mer stressande än de förutsägbara och kontrollerbara (Thompson, 1981). Man kan förbereda sig på förutsägbara händelser och förutsägbarheten innebär också att det finns viloperioder under vilka man inte behöver vara förberedd på att den stressande händelsen ska inträffa.

Subjektiva reaktioner

Kjellberg m fl (1996a) fann att förutsägbarhet och kontroll hade ett positivt samband med distraktionsindexet men var okorrelerat med störningsindexet, dvs man upplevde att oförutsägbarheten hade betydelse för i vilken utsträckning bullret påverkade arbetet.

Schönplugg och Schulz, citerade av Sust (1987), fann i en studie av kontor att även mycket höga bullernivåer accepterades då bullret var en konsekvens av personens eget arbete. Andra faktorer än upplevd kontroll kan dock bidra till att man inte reagerar på samma sätt på ljud som man själv producerar genom sitt arbete och andra ljud. Det egenproducerade ljudet innehåller ofta information om arbetsprocessen och kan då alltså ge viktig feedback till operatören. En annan aspekt som visat sig viktig (se nedan) är att det egenproducerade ljudet troligen oftare ses som en oundviklig konsekvens av det arbete som ska utföras.

Från studier i bostadsområden finns stöd för att upplevd kontroll har betydelse för hur störd man känner sig av bullret. De som anser att det finns möjlighet att påverka myndigheternas beslut så att bullersituationen förbättras är mindre störda än de som inte på detta sätt anser sig ha kontroll över situationen (Graeven, 1975; Jue m fl, 1984).

I det fall där de enskilda ljudhändelserna och pauserna mellan dem är mycket korta upplevs ljudet som ett ljud med ojämn karaktär (t ex som knatter), och inte som en serie ljudhändelser. Störningseffekten av sådana ljud förefaller vara oberoende av om ljud och pauser har konstant längd eller om de varierar på ett slumpmässigt sätt (Landström m fl, 1995).

Experimentellt stöd finns också för att bullrets effekt på upplevd stress under arbete blir svagare om bullret är kopplat till vad man gör än om det är helt oberoende av det egna agerandet (Munz m fl, 1971).

En japansk studie (Matsui m fl, 1971) jämförde förekomsten av symptom som huvudvärk, trötthet och irritation i olika verkstadslokaler. Resultaten tydde på att den som utsätts för buller från en angränsande lokal kan må sämre än den som arbetar i lokalen där bullerkällan finns trots att ljudnivån är väsentligt lägre. Undersökningens uppläggning medgav dock endast bristfällig kontroll över effekten av andra potentiellt kritiska förhållanden.

Prestation

En fältstudie av apotekare (Flynn m fl, 1996) pekade inte på att okontrollerbara ljud ledde till att felbehandling av recept blev vanligare.

I experimentella studier har intermittent ljud oftast visat sig ha större negativa prestationseffekter än kontinuerligt ljud, och denna effekt förstärks av att tids-schemat är opredicerbart (Kohfeld m fl, 1978).

I en experimentell studie av effekten av upplevd kontroll (Blechman m fl, 1976) visade det sig att prestationen påverkades mindre då försökspersonerna hade, eller snarare trodde att de hade, kontroll över ljudet.

Den mest omfattande forskningen kring betydelsen av kontroll och förutsägbarhet på prestationsnivån har gjorts kring eftereffekterna av bullerexponering. Glass och Singer (1972) rapporterade en lång rad experiment som visade att prestationen kan försämrats av buller också efter exponeringen, och att dessa eftereffekter är mest framträdande om bullret är okontrollerbart och oförutsägbart (Singer m fl, 1990).

Fysiologiska reaktioner

En studie av kardiovaskulära reaktioner på bostadsbullret fann att även dessa påverkades av den upplevda bullerkontrollen (Guski, 1980). Vidare fann Lundberg och Frankenhaeuser (1978) i ett experiment att även hormonella stressreaktioner (noradrenalin, cortisol) på buller försvagades då försökspersonerna hade kontroll över bullret.

Slutsatser

Det finns stöd för att förutsägbarhet och kontroll är förhållanden som minskar den psykiska bullerbelastningen. Rapporterade studier ger dock ingen möjlighet till en kvantitativ bedömning av effekternas storlek.

5.2.3 Aspirationsnivå och bullrets upplevda oundviklighet

Subjektiva reaktioner

I en verkstad betraktas ofta större delen av bullerexponeringen som en oundviklig konsekvens av verksamheten, medan samma ljud skulle ses som helt onödigt i ett intilliggande kontor. Detta är troligen huvudskälet till att ett buller som bedöms som acceptabelt i en verkstad, skulle betraktas som outhärdligt på ett kontor. Kjellberg m fl (1996a) bad deltagarna i studien att bedöma hur stora möjligheter som fanns att sänka ljudnivån på arbetsplatsen. Dessa bedömningar visade sig ha ett starkt samband med störningsskattningen; de som ansåg att det fanns goda möjligheter att reducera ljudnivån, var mer störda än de som trodde att det som kunde göras redan hade blivit gjort. Skillnaden i störningsskattning mellan dessa två grupper motsvarade en skillnad i frekvensvägd ljudtrycksnivå på omkring 10 dB (skillnaden berodde inte på att de som trodde att det fanns dämpningsmöjligheter också exponerades för högre ljudnivå, eftersom beräkningen grundade sig på störningsskattningar som hade korrigerats med avseende på skillnader i ljudnivå).

När Schönpflug och Schulz (citerade av Sust (1987)) fann att man tolererade högre ljudnivåer då bullret var ett resultat av det egna arbetet berodde detta troligen inte bara på att bullret var under personens kontroll, eller på att det gav viktig återkoppling till operatören. Att bullret kunde betraktas som en oundviklig kon-

sekvens av aktiviteten kan också ha bidragit till effekten. En sådan effekt av relationen mellan uppgiften och ljudet har även påvisats av Munz m fl (1971) i ett laboratorieförsök.

Prestation

Inga studier finns rapporterade om prestationseffekter i relation till bullrets upplevda oönsklighet.

Slutsatser

En slutsats från dessa studier är att ett huvudmål bör vara att skydda de anställda från buller som inte har något direkt att göra med deras eget arbete. Trafik- och ventilationsbuller är exempel på buller som på de flesta arbetsplatser har denna karaktär. En annan slutsats är att det är viktigt att informera på arbetsplatsen om de åtgärder som vidtagits mot bullret och om de problem som eventuellt gör det svårt att uppnå ytterligare reduktioner.

5.2.4 Attityd till bullerkällan och andra aspekter av arbetsmiljön

Subjektiva reaktioner

De subjektiva reaktionerna på ett buller kan påverkas av vilken attityd man har till bullerkällan. Sörensen (1970) lyckades t ex att reducera klagomålen på buller från en flygflottilj genom att skapa en mer positiv attityd till flygvapnet. I linje med detta fann McKennel (1980) att de personer som uppgav sig vara minst störda av bullret från Concorde-flygplanet var de som hade de starkaste patriotiska känslorna för Concordeprojektet.

Inga systematiska studier förefaller ha rapporterats kring hur attityder till bullerkällor på arbetsplatsen påverkar reaktionen på bullret. Däremot fann Kjellberg m fl (1996a) och Nemecek och Grandjean (1973a) att den skattade bullerstörningen hade ett starkt samband med missnöje med andra aspekter av arbetsmiljön.

Skattningarna av hur störande bullret i bostaden är kan även tänkas avspegla en allmän attityd till bostadsområdet, snarare än en specifik reaktion på bullret (Jonah m fl, 1981; Weinstein, 1980).

Prestation

Inga studier finns rapporterade som relaterar prestationseffekter till attityden till bullerkällan.

Slutsatser

En slutsats från dessa studier är att det avgörande problemet kan vara en negativ attityd till bullerkällan eller till arbetsförhållandena i övrigt och i sådana fall kommer åtgärder som reducerar bullret sannolikt ha små effekter på klagomålen på bullersituationen.

5.2.5 Pågående aktivitet

Subjektiva reaktioner

Den subjektiva störningsreaktionen på buller antas vanligen påverkas av vilken arbetsuppgift man ägnar sig åt, t ex i kommentardelen i Arbetarskyddsstyrelsens bullerföreskrifter (Arbetarskyddsstyrelsen, 1992). I ett avseende är detta säkerligen riktigt; man är särskilt störd när bullret maskerar information som behövs för den pågående aktiviteten. Visserligen finns inga arbetsplatsstudier av denna fråga, men många studier från bostadsmiljöer visar t ex att man är särskilt störd då man tittar på TV, lyssnar på radio eller talar i telefon (Galloway m fl, 1973; Gunn m fl, 1977; 1981; Hall m fl, 1985). Kjellberg m fl (1996) fann också ett starkt samband mellan graden av upplevd talinterferens i arbetet och skattad störning.

Det empiriska stödet för betydelsen av andra aspekter av arbetsuppgiften för den subjektiva störningsreaktionen är betydligt magrare och inte helt entydiga. Kjellberg m fl (1996) fann att störningsgraden minskade ju mer engagerande arbetsuppgiften bedömdes vara. Nemecek och Turrian (1978b) fann att de med högre positioner på ett kontor var mer störda av bullret än övrig personal. Detta tolkades som stöd för att man är känsligare för buller då man arbetar med en mer komplex uppgift. Boyce (1974) och Nemecek (1984) rapporterar liknande resultat, medan Hay och Kempf (1972) inte fann någon skillnad mellan yrkesgrupper. De bullerstörningsdagböcker som samlades in av Purcell och Thorne (1977) tydde på att man var mest känslig för buller under räkneuppgifter.

Några experimentella studier som belyser frågan har också rapporterats. Landström m fl (1993; 1995) genomförde en serie experiment med olika ljudtyper där de bestämde subjektiva störningströsklar och toleransnivåer under arbete med en enkel reaktionstidsuppgift och under en mer komplicerad verbal kognitiv uppgift. Tröskeln och toleransnivån visade sig genomgående ligga ca 6 dB lägre för den mer komplexa uppgiften. I den serie experiment som rapporterades av Kjellberg och Sköldström (1991) skattade försökspersonerna störningsgraden under olika arbetsuppgifter, inklusive de två som användes av Landström m fl (1993; 1995). Även i dessa försök erhöles en skillnad i störningsgrad som motsvarade en skillnad i ljudtrycksnivå på 6 dB. Dock visade sig en mer komplex reaktionstidsuppgift medföra lika stark störning som de två mer komplicerade verbala uppgifterna. De fann också att den mest störande kombinationen av ljud och uppgift var ovidkommande tal under arbete med en verbal uppgift.

Under välkontrollerade laboratoriebetingelser har man alltså kunnat påvisa konsistenta skillnader mellan störningsgraden under olika arbetsuppgifter. Dock är det slående att skillnaderna är ganska små och uppenbarligen bara kan förklara en mindre del av de skillnader som föreligger mellan olika typer av arbetsplatser. Det är därför troligt att skillnader i anspråksnivåer och bullrets upplevda oundviklighet är en viktigare förklaring till dessa skillnader.

Prestation

Arbetsplatsstudierna av hur bullermiljön påverkar prestationen är mycket få. De har dessutom vanligen gällt arbetsplatser med mycket höga ljudnivåer och är

öppna för andra tolkningar (Broadbent m fl, 1960; Noweir, 1984). Ingen av dem har försökt belysa vilka uppgifter som skulle vara särskilt känsliga för bullerpåverkan. En indikation om detta ges i en dagboksstudie av Purcell och Thorne (1977) som visade att de anställda själva bedömde att man blev mest störd av bullret i räkneuppgifter.

Däremot har ett mycket stort antal laboratorieexperiment belyst vilka egenskaper hos arbetsuppgiften som gör den känslig för bullerpåverkan. Resultaten från denna forskning låter sig inte lätt sammanfattas. Broadbent (1979) drog i en översiktsartikel slutsatsen att inga klara effekter av buller under 95 dB(A) hade påvisats. Senare forskning har dock visat att effekter kan uppstå vid betydligt lägre nivåer. Ett förklaring till detta är att man på senare år i mindre utsträckning intresserat sig för sensori-motoriska uppgifter (t ex reaktionstids-uppgifter och signalövervakning) och i större utsträckning studerat bullrets effekter på prestationen i verbala uppgifter. Laboratorieexperimenten har mera sällan lagts upp för att kunna belysa bullerproblem på arbetsplatsen, och de har därför oftast en begränsad relevans för denna fråga. Därför görs här inte någon ingående översikt över denna forskning; endast några övergripande slutsatser tas upp. Frågan om känsliga uppgifter tas dessutom upp i kapitlet om skola och lågfrekvent buller.

Minnesuppgifter. En mycket stor mängd forskning har ägnats åt ovidkommande tal som störningskälla och en stor del av denna forskning har gällt effekterna på prestation i uppgifter som kräver att man återger ordlistor eller liknande osammanhängande material (Jones, 1990). Dessa effekter är mycket väl belagda, men uppgifterna har få direkta motsvarigheter utanför laboratoriet, och är därför av begränsat intresse i detta sammanhang. Effekterna på förståelse och återgivning av sammanhängande texter tas upp i följande avsnitt.

Textförståelse och återgivning av textinnehåll. Korrekturläsning kräver förmågor som är av betydelse i många verkliga arbetsuppgifter. Starkt stöd finns för att buller kan försämra prestationen i sådana uppgifter (Jones, 1990). Sådana effekter har demonstrerats både av buller från kontorsmaskiner (Weinstein, 1974) och ovidkommande tal (Jones m fl, 1990).

Liknande effekter har erhållits då man testat textförståelse och/eller minne av texten genom att ställa frågor om innehållet (Hygge, 1992; Martin m fl, 1988; Veitch, 1990). Två resultat från forskningen om irrelevant tal är särskilt viktiga. För det första har det visat sig att meningsfullt tal ger större prestationsförsämringar än obegripligt tal och instrumentalmusik (Martin m fl, 1988). (Andra försök (Kiger, 1989) visar att även instrumentalmusik, om den är tillräckligt komplex kan försvåra läsförståelsen.) Det andra resultatet är att ljudnivån inom variationsvidden 50-70 dBA inte har någon betydelse för effekten (Jones m fl, 1990).

Komplexa kontorsuppgifter. Schönpflug och Schulz har utvecklat laboratoriosimuleringar av mer komplexa kontorsarbetsuppgifter, och har studerat hur bl a buller påverkar prestationen i dessa uppgifter. Schönpflug (1983) ger en översikt över dessa studier.

I en typisk uppgift i dessa studier ges försökspersonen i uppgift att t ex ta ställning till en låneansökan och måste då välja mellan ett antal alternativa beslut. För att fatta ett riktigt beslut krävs att personen skaffar sig kompletterande information. En huvudslutsats från dessa studier är att buller utgör en belastning i sådant arbete och att försökspersonerna hanterar detta på två sätt. De försöker antingen kompensera för belastningen genom att arbeta hårdare eller väljer att ta mer riskfyllda beslut.

Om de arbetar under tidspress ökar också antalet felaktiga beslut, dvs att man inte lyckades kompensera för den ökade belastningen. Försämringar kunde iakttagas vid ljudtrycksnivåer kring 50-60 dBA, men de blev tydligare vid 70-80 dBA.

Stor försiktighet måste iakttagas då man generaliserar prestationseffekter från laboratoriet till verkliga arbetsplatser. Schönpflugs försök och andras (Smith, 1983) visar att bullret ofta påverkar hur man genomför uppgiften snarare än hur väl man gör det. Vilken strategi man väljer, om man t ex väljer att försöka kompensera för den belastning som bullret utgör, beror förmodligen på i vilken situation man genomför den. Möjligheten att kompensera för belastningen och konsekvenserna av att inte göra det skiljer sig sannolikt starkt mellan den som deltar i ett kortvarigt laboratorieförsök och den som har att arbeta under en åtta timmars arbetsdag med uppgiften.

Eftereffekter av arbete i bullrig miljö. De eftereffekter av arbete i bullriga miljöer som nämnts ovan är särskilt framträdande i vissa uppgifter, nämligen sådana som inte i första hand avspeglar prestationsförmågan, utan snarare motivationen att prestera bra (Cohen, 1980; Singer m fl, 1990). En tolkning av detta är att det under vissa omständigheter är mer tröttsamt att arbeta under exponering för buller. Man skulle alltså inte orka prestera lika bra i en efterföljande uppgift, som man skulle kunna ha gjort om den första uppgiften genomförts i en tystare situation. Det är också att märka att dessa effekter kan uppstå även då prestationen under bullerexponeringen varit opåverkad.

Den enda fältstudien som demonstrerat sådana eftereffekter på prestationsnivån efter arbetet gällde flygmekaniker som arbetade under mycket hög bullerexponering (Kjellberg m fl, 1996b).

En utförligare redovisning av forskning kring de omedelbara effekterna och eftereffekterna av buller på prestation i olika typer av uppgifter ges i kapitel 6.

Slutsatser

Både subjektiva data och prestationsdata indikerar att bullerstörningen är störst under arbetet med uppgifter där bullret kan göra det svårare att uppfatta viktig information. Störningsrisken är också särskilt hög under arbete mer komplexa uppgifter och speciellt i samband med verbala arbetsuppgifter.

5.3 Individuella skillnader i reaktionerna på buller

Det är uppenbart att samma ljud kan väcka vitt skilda reaktioner hos olika människor. Däremot är det inte lika klart i vilken utsträckning dessa skillnader speglar en stabil och generell bullerkänslighet eller om de är beroende av individernas tillfälliga tillstånd och i vilken situation bullret uppträder. I den utsträckning man kan konstatera att det finns stabila och generella skillnader mellan individers sätt att reagera på buller återstår dessutom frågan om detta är ett utslag av en specifik bullerkänslighet eller om den ska ses som ett av flera utslag av en mer generell känslighet. Översikter över denna forskning ges av Jones och Davies (1984) och Stansfeld (1992).

I detta sammanhang är dock den viktigaste frågan om man kan identifiera grupper som är särskilt känsliga för buller, och för vilka det alltså skulle finnas skäl att ställa särskilt höga krav på ljudmiljön. Forskningen kring denna fråga har inte kunnat påvisa någon klar relation bullerkänslighet och olika demografiska variabler som ålder och kön (Jones & Davies, 1984). Den enda grupp som oftast visat sig vara mer känslig för buller är de hörselskadade. En huvudorsak till detta är att bullret försämrar möjligheten att uppfatta tal mycket mer för den hörselskadade än för den normalhörande (Aniansson m fl, 1983). Men även den förvrängning av ljudupplevelsen som följer med hörselskadan kan bidra till att ljud upplevs som mer obehagliga och störande för den hörselskadade (se vidare i kapitel 4).

Prestation

Det finns indikationer på att interindividuella skillnader i prestationseffekten av buller är ännu mindre stabila än skillnaderna i subjektiva reaktioner (Wilkinson, 1974)).

Erfarenhet av den aktuella arbetsuppgiften är en möjlig orsak till skillnader i prestationseffekter. Skälet till att mer komplexa uppgifter är mer känsliga för bullerpåverkan antas ju vanligen vara att de kräver att en större del av den tillgängliga mentala kapaciteten tas i anspråk, och att man därför har för liten reservkapacitet för att kunna klara de extra belastning som bullret utgör. Effekten av träning i en uppgift är bland annat att samma prestation kan utföras med utnyttjande av en allt mindre del av den tillgängliga kapaciteten. I linje med detta fann Schulz och Battmann (1980) de största bullereffekter bland dem som var sämst i uppgiften.

Slutsatser

Det finns anledning att ställa speciellt höga krav på bullermiljön i lokaler där hörselskadade ska arbeta. Träning av nya arbetsuppgifter bör också om möjligt genomföras i lokaler där man minimerat det störande bullret (dock måste detta vägas mot att det i vissa fall kan vara av central vikt att kunna utföra uppgiften i en ogynnsam ljudmiljö).

Bullerkänsligheten varierar starkt även mellan individer i samma arbetssituation. För att uppnå en god bullermiljö måste därför hänsyn tas till de enskilda individernas behov.

5.4 Sammanfattande slutsatser

Forskningen kring icke-akustiska förhållandens effekter på störningsreaktionen har i mycket liten utsträckning utformats för att ge underlag för en kvantitativ bedömning av hur ett visst förhållande bör påverka den acceptabla exponeringsnivån. Forskningen har dock visat att man bör uppmärksamma ett antal förhållanden utöver de tekniska mätvärdena då man har att bedöma om ljudmiljön på en arbetsplats är acceptabel. Störningsriskerna är således större:

- Då bullret kan göra det svårare att uppfatta viktig information (se vidare kapitel 4).
- Under arbete med mer komplexa uppgifter, speciellt arbetsuppgifter som kräver att man behandlar verbal information.
- Då bullret varierar på ett sätt som den exponerade inte kan kontrollera eller förutsäga.
- Då bullerkällan inte har något med den exponerades eget arbete att göra.
- Om hörselskadade ska arbeta i lokalen.
- Då det störande ljudet är ovidkommande tal och arbetsuppgiften är av verbal karaktär.

Man bör dessutom tänka på:

- att informera om åtgärder som vidtagits mot bullret och om de eventuella svårigheter som hindrar ytterligare förbättringar;
- att den som ännu inte helt lärt sig arbetsuppgiften kan vara mer störd än den med stor erfarenhet;
- att bullerkänsligheten varierar starkt och att hänsyn därför måste tas till de enskilda individernas behov;
- att en negativ inställning till bullerkällan och arbetsförhållandena i övrigt kan påverka reaktionerna på bullret.

5.5 Referenser

- Aniansson G, Pettersson K & Peterson Y (1983) Traffic noise annoyance and noise sensitivity in persons with normal and impaired hearing. *Journal of Sound and Vibration*, 88, 85-97.
- Arbetskyddsstyrelsen (1992) *Buller*. Solna: Arbetskyddsstyrelsen.
- Blechman EL & Dannemiller EA (1976) Effects on performance of perceived control over noxious noise. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 44, 601-607.
- Boyce PR (1974) Users' assessment of a landscaped office. *Journal of Architectural Research*, 3(3), 44-62.

- Broadbent DE (1979) Human performance and noise. In: Harris CM ed. *Handbook of noise control*. Pp 17:1-17:20, New York: McGraw-Hill.
- Broadbent DE & Little EAJ (1960) Effects of noise reduction in a work situation. *Occupational Psychology*, 34, 133-140.
- Brookes MJ (1972) Office landscape: does it work? *Applied Ergonomics*, 3, 224-236.
- Bryan ME & Tolcher D (1976) Preferred noise levels whilst carrying out mental tasks. *Journal of Sound and Vibration*, 45(1), 139-156.
- Cohen S (1980) Aftereffects of stress on human performance and social behavior: A review of research and theory. *Psychological Bulletin*, 88, 82-108.
- Flynn EA, Barker KN, Gibson JT, Pearson RE, Smith LA & Berger BA (1996) Relationship between ambient sounds and the accuracy of pharmacists' prescription-filling performance. *Work and Stress*, 38, 614-622.
- Galloway WJ & Jones G (1973) Motor vehicle noise: identification and analysis of situations contributing to annoyance. In: Ward W ed. *Proceedings of the Second International Congress on Noise as a Public Health Problem, Dubrovnik Yugoslavia*. Pp 691-705, Washington, DC: Environmental Protection Agency, EPA Report 550/9-73-008.
- Glass DC & Singer JE (1972) *Urban stress: experiments on noise and social stressors*. New York: Academic Press.
- Graeven DB (1975) Necessity, control and predictability of noise as determinants of noise annoyance. *Journal of Social Psychology*, 95, 86-90.
- Griffiths ID & Langdon FJ (1968) Subjective response to road traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, 8, 16-32.
- Gunn WJ, Shigehisa T, Fletcher JL & Shepherd WT (1981) Annoyance response to aircraft noise as a function of contextual effects and personality characteristics. *Journal of Auditory Research*, 21, 51-83.
- Gunn WJ, Shigehisa T & Shepherd WT (1977) Annoyance response to spectrally modified recorded aircraft noise during television viewing. *Journal of Auditory Research*, 17, 241-249.
- Guski R (1980) Über Zusammenhänge zwischen Kreislauf- und Belastungsreaktionen auf Straßenverkehrslärm in Wohngebieten. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 27, 126-132.
- Hall FL, Taylor SM & Birnie SE (1985) Activity interference and noise annoyance. *Journal of Sound and Vibration*, 103, 237-252.
- Hay B & Kemp MF (1972) Measurements of noise in air conditioned, landscaped offices. *Journal of Sound and Vibration*, 23, 363-373.
- Hygge S (1992) The interaction of noise and mild heat on cognitive performance and serial reaction time. *Environment International*, 17, 229-234.
- Jonah BA, Bradley JS & Dawson NE (1981) Predicting individual subjective responses to traffic noise. *Journal of Applied Psychology*, 66, 490-501.
- Jones D (1990) Recent advances in the study of human performance in noise. *Environment International*, 16, 447-458.
- Jones DM & Davies DR (1984) Individual and group differences in the response to noise. In: Jones DM & Chapman AJ eds. *Noise and society*. Pp 125-153, Chichester: Wiley.
- Jones DM, Miles C & Page J (1990) Disruption of proofreading by irrelevant speech: effects of attention, arousal or memory? *Applied Cognitive Psychology*, 4, 89-108.
- Jue GM, Shumaker SA & Evans GW (1984) Community opinion concerning airport noise-abatement alternatives. *Journal of Environmental Psychology*, 4, 337-345.
- Keighley EC & Parkin PH (1979) Subjective responses to sound conditioning in a landscaped office. *Journal of Sound and Vibration*, 64, 313-323.
- Kiger DM (1989) Effects of music information load on a reading comprehension task. *Perceptual and Motor Skills*, 69, 531-534.

- Kjellberg A, Landström U, Tesarz M, Söderberg L & Åkerlund E (1996a) The effects of non-physical noise characteristics, ongoing task and noise sensitivity on annoyance and distraction due to noise at work. *Journal of Environmental Psychology*, 16, 123–136.
- Kjellberg A & Sköldström B (1991) Noise annoyance during the performance of different non-auditory tasks. *Perceptual and Motor Skills*, 73, 39–49.
- Kjellberg A, Sköldström B, Andersson P & Lindberg L (1996b) Fatigue effects of noise among airplane mechanics. *Work and Stress*, 10, 62–71.
- Kohfeld DL & Goedecke DW (1978) Intensity and predictability of background noise as determinants of simple reaction time. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 12, 129–132.
- Kryter KD (1994) *The handbook of hearing and the effects of noise. Physiology, psychology and public health*. New York: Academic Press.
- Landström U, Kjellberg A & Byström M (1993) Acceptable levels of sounds with different spectral characteristics during the performance of a simple and a complex non-auditory task. *Journal of Sound and Vibration*, 160, 533–542.
- Landström U, Kjellberg A & Byström M (1995) Acceptable levels of tonal and broadband repetitive and continuous sounds during the performance of non-auditory tasks. *Perceptual and Motor Skills*, 81, 803–816.
- Landström U, Kjellberg A, Tesarz M & Åkerlund E (1992) *Samband mellan exponeringsnivå och störningsgrad för buller i arbetslivet*. Arbete och Hälsa 1992: 42, Solna: Arbetsmiljöinstitutet.
- Lundberg U & Frankenhaeuser M (1978) Psychophysiological reactions to noise as modified by personal control over noise intensity. *Biological Psychology*, 6, 51–59.
- Martin RC, Wogater MS & Forlano JG (1988) Reading comprehension in the presence of unattended speech and music. *Journal of Memory and Language*, 27, 382–398.
- Matsui K & Sakamoto H (1971) The understanding of complaints in a noisy workshop. *Ergonomics*, 14, 95–102.
- McKinnell AC (1963) *Aircraft noise annoyance around London (Heathrow) airport*. London: Her Majesty's Stationary Office.
- McKinnell AC (1980) Annoyance from Concorde flights around Heathrow. In: Tobias JV, Jansen G & Ward WD eds. *Proceedings of the Third International Congress on Noise as a Public Health Problem*. Pp 562–566, Rockville, Maryland: ASHA Reports 10, American Speech-Language-Hearing Association.
- Munz DC, Ruffner JW & Cross JF (1971) Reduction of noise annoyance through manipulation of stressor relevance. *Perceptual and Motor Skills*, 32, 55–58.
- Nemecek J (1984) Music during office work. In: Grandjean E ed. *Ergonomics and health in modern offices*. Pp 64–69, London: Taylor & Francis.
- Nemecek J & Grandjean E (1973a) Noise in landscaped offices. *Applied Ergonomics*, 4(1), 19–22.
- Nemecek J & Grandjean E (1973b) Results of an ergonomic investigation of large-space offices. *Human Factors*, 15, 111–124.
- Nemecek J & Turrian V (1978a) Der Bürolärm und seine Wirkungen. *Kampf dem Lärm*, 25, 50–57.
- Nemecek J & Turrian V (1978b) Untersuchungen von Störwirkungen durch Lärm in Büros. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 32, 21–24.
- Nemecek J, Turrian V & Sancin E (1976) Lärmstörungen in Büros. *Sozial- und Präventivmedizin*, 21, 133–134.
- Noweir MH (1984) Noise exposure as related to productivity, disciplinary actions, absenteeism, and accidents among textile workers. *Journal of Safety Research*, 15, 163–174.
- Purcell AT & Thorne RH (1977) An alternative method for assessing the psychological effects of noise in the field. *Journal of Sound and Vibration*, 55, 533–544.

- Schulz P & Battmann M (1980) Die Auswirkungen von Verkehrslärm auf verschiedenen Tätigkeiten. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 27, 592–606.
- Schönpflug W (1983) Coping efficiency and situational demands. In: Hockey R ed. *Stress and fatigue in human performance*. Pp 299-326, New York: Wiley.
- Singer JE, Acri JB & Schaeffer MH (1990) Cognitive changes from noise exposure. In: Berglund B & Lindvall T eds. *Proceedings of the 5th International Congress on Noise as a Public Health Problem*. Vol. 4. Pp 401-409, Stockholm: Swedish Council for Building Research.
- Smith AP (1983) The effects of noise on strategies of human performance. In: Rossi G ed. *Proceedings of the Fourth International Congress on Noise as a Public Health Problem*. Pp 797-807, Milano: Centro Ricerche e Studi Amplifon.
- Stansfeld SA (1992) Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder – epidemiological and psychophysiological studies. *Psychological Medicine*, Supplement 22.
- Sust C (1987) *Geräusche mittlerer Intensität – Bestandsaufnahme ihrer Auswirkungen*. Fb Nr. 497: Bundesanstalt für Arbeitsschutz.
- Sörensen S (1970) On the possibilities of changing the annoyance reaction to noise by changing the attitudes to the source of annoyance. *Nordisk Hygienisk Tidskrift*, (Suppl 1).
- Thompson SZ (1981) Will it hurt less if I can control it? A complex answer to a simple question. *Psychological Bulletin*, 90, 89-101.
- Warnock ACC (1973) Acoustical privacy in the landscaped office. *Journal of the Acoustical Society of America*, 53, 1535–1543.
- Weinstein ND (1974) Effects of noise on intellectual performance. *Journal of Applied Psychology*, 59, 548-554.
- Weinstein ND (1980) Individual differences in critical tendencies and noise annoyance. *Journal of Sound and Vibration*, 68, 241-248.
- Veitch JF (1990) Office noise and illumination effects on reading comprehension. *Journal of Environmental Psychology*, 10, 209-217.
- Wilkinson RT (1974) Individual differences in response to the environment. *Ergonomics*, 17, 745-756.
- Völker EJ (1978) Privacy und akustische Behaglichkeit im modernen Bürobau. *Kampf dem Lärm*, 25, 26–31.
- Völker EJ (1979) Störgeräusche in Grossraumbüros – Pegelverhältnisse und Bewertungen. *Kampf dem Lärm*, 26, 70–73.

6. Buller, skola, prestation och inläring

Staffan Hygge, KTH, Byggd Miljö, Gävle

Buller är störande, särskilt för mentalt och intellektuellt krävande arbete. Ökade krav på kvaliteten i intellektuella och mentala prestationer är svåra att uppfylla i bullriga miljöer. Skolan är den miljö i vårt samhälle som särskilt skapats för kognitivt krävande arbete t ex minne och inläring. Medan buller i arbetsmiljön har minskat under de gångna 50 åren, har kanske buller i skolan och från fritids-verksamheter snarast ökat.

Hur buller påverkar kognition (dvs de tankefunktioner med vilkas hjälp kunskap och information behandlas, t ex uppmärksamhet, minne, inläring, problemlösning, beslutsfattande) är något utforskat, men föga kvantifierat. Bullrets påverkan kan tänkas vara störst när de kognitiva arbetsuppgifterna är svårast, men kanske negligerbar vid lätta arbetsuppgifter.

Två typer av bullerkällor är vanliga i ett klassrum: (1) buller från transport-medel (flyg, väg, tåg) och (2) det buller lärare och elever genererar i klassrummet och angränsande lokaler. Därutöver kan buller från ventilationsanläggningar förekomma. Den allmänna ljudnivån i klassrummet och rummets akustiska egenskaper inverkar på hur högt lärare och elever måste tala för att bli hörda.

6.1 Distinktionen prestation – inläring – eftereffekter

I en analys av hur buller påverkar skolarbetet är det viktigt att göra en distinktion mellan prestation och inläring. Buller kan påverka hur väl och skickligt något utförs när det utförs under buller. Buller kan också påverka hur väl något lärs in när det lärs in under buller. Om något både lärs in och testas för under buller går det därför inte att avgöra om bullret påverkar inläring, prestation eller båda.

De flesta studier av buller i t ex en arbetsmiljö handlar inte om hur väl man lär sig något under buller, men väl hur bra eller dålig arbetsprestationen blir när arbetet utförs under buller. Studier av t ex sambandet mellan flygbullernivån omkring några skolor och genomsnittliga betyg i skolämnen kan förväxla flyg-bullrets effekter på inläring med flygbullrets effekter på prestation eftersom prestationstestet för betygen också sker i buller. För att få ett rättvist test av vad som lärts in under buller bör prestationstestet av vad som lärts ske i tystnad.¹

I studier av *eftereffekter* av buller studeras, som i inläring, effekter på prestation efter det bullret slagits av. De arbetsuppgifter som utförs i bullerfasen

¹ I de fall mina redogörelser för undersökningarna i detta kapitel inte innehåller någon ljudtrycksnivå i dB i samband med uttrycken *tystnad* eller *tysta* beror det nästan alltid på att originalundersökningarna inte anger någon sådan nivå. När ljudtrycksnivåer anges avses i standardfallet de nivåer lyssnaren nås av t ex i klassrummet. När nivåer utomhus avses, t ex utanför klassrummet, anges detta. I många studier saknas mätetal för ljudtrycksnivåer eller är bristfälliga.

och under tystnad är dock orelaterade, dvs man har i den tysta testfasen ingen nytta av det man lärt sig under den bullriga fasen. I sådana studier är det därför inte fråga om någon inläringssituation, utan hellre en mer generell påverkan av t ex motivation och uthållighet.

6.2 Några komplikationer

För att kunna utvärdera den rena effekten av hur buller påverkar inläring och prestation, måste man undvika de maskeringseffekter buller kan ha på den uppgift som skall utföras. Om materialet presenteras muntligt under en bullrig inlärnings-session, eller om instruktionerna i en bullrig testsituationen presenteras muntligt, finns det risk för att bullret maskerar informationen till försökspersonerna och att en skillnad mellan den bullriga och tysta betingelsen inte har att göra med hur tankearbetet påverkades av buller utan bara med hur mycket av informationen de båda grupperna faktiskt hörde. Det är därför viktigt för en slutsats om inläring och buller, att testningen för det inlärdas sker i tystnad.

En annan slags komplikation är hur effekten av önskade eller positivt värderade bullerkällor, som t ex musik skall värderas. Ett antal studier har särskilt undersökt ljud från musik (Etaugh & Michals, 1975; Etaugh & Ptasnik, 1982; Fendrick, 1937; Freeburne & Fleischer, 1952; Hall, 1952). Hit hör också studierna av den s k Mozarteffekten, en påstådd höjning av barns intelligens efter att ha lyssnat på Mozart-musik (Nantais & Schellenberg, 1999; Rauscher m fl, 1993; 1995; Steele m fl, 1999). På grund av omstridda resultat och risken för att självvald musik inte alltid fungerar som buller, kommer någon systematisk och täckande genomgång inte att göras av musik som ljudkälla.

6.3 Undersökningsmetoder

Den teoretiskt ideala undersökningen om buller och inläring är ett experiment, eftersom experiment tillåter kausala slutsatser. Alternativet är fältundersökningar om skolprestationer och kognitiva färdigheter efter långvarig bullerexponering. Det genomgående svårigheten med fältundersökningar är att metodologiskt likställa de grupper som exponerats för mycket buller med dem som exponerats för mindre buller i *alla andra variabler* som kan påverka undersökningsresultaten. Dock, fältundersökningar har fördelen att undersöka kronisk bullerexponering, till skillnad från den akuta exponeringen i experiment. Det vore därför önskvärt att i experimentella studier med upprepade bullerexponering se om, när och hur upprepade akuta exponeringar visar samma slags av bullereffekter som visats i välkontrollerade fältstudier. Det vore också intressant att se på graden av tillvänjning.

6.4 Besläktade forskningsöversikter

I Cohen m fl (1986) gjordes en sammanställning av bullers psykologiska effekter på människor, bl a av hur intellektuella och mentala färdigheter påverkas. De använder sig i huvudsak av samma forskningsunderlag som jag, men en annan indelning av materialet. De drar inte skiljande gränser mellan prestation och inläring, eller mellan experiment och fältstudier. Deras och mina slutsatser stämmer dock väl överens. Samma kan sägas i en jämförelse med Evans och Lepore (1993) som särskilt värderade bullers effekter på barn.

6.5 Prestationsstudier

6.5.1 Experiment – prestation och korttidsminne

Christie och Glickman (1980) undersökte elever i årskurs 1, 3 och 5 på en spatial uppgift (matriser). Bullret var en bandinspelning av vanliga klassrumsaktiviteter som spelades upp med 70 dBA i den bullriga och 40 dBA i den tysta betingelsen. Ingen huvudeffekt av buller kunde visas, men en interaktion med kön. Pojkar hade högre poäng i den bullriga än den tysta betingelsen, men flickor presterade bättre under tystnad.

I en tidig studie av Cason (1938) undersöktes hur den sammantagna påverkan från radio och en försöksledare som hummade, trummade med fingrarna, visslade falskt och gick runt i rummet påverkade hur studenter löste additionsproblem, aritmetiska problem, mycket enkel inläring (parade associater) läsning av intressant prosa och läsning av ordspråk och skämt. Inga statistiska prövningar gjordes, men författaren hävdar ett det fanns en liten prestationsförsämring för additionsproblemen, enkel inläring och läsningen av prosa. Det pekades ut i artikeln att inverkan från försöksledarens beteende troligen var större än den från radion.

Johansson (1983) undersökte ord-figur inläring, läsning och multiplikation hos tioåringar under ett två timmar långt experiment. Ljudbetingelserna var tystnad (25 dB), kontinuerligt brus (51 dB) och intermittent brus av samma genomsnittsnivå (ekvivalent noisiness). Inga huvudeffekter av buller rapporterades. Barn med högre intelligens löste dock fler multiplikationsuppgifter under buller än tystnad, medan det omvända gällde för barn med låg intelligens.

Kassinove (1972) använde sig av en tyst kontrollgrupp och fyra typer meningsfullt buller: (1) sagor, (2) populärmusik, (3) en blandning av sagor och populärmusik från samma högtalare, och (4) som (3) men från olika högtalare. Bullret uppgavs variera mellan 70-80 dB. Arbetsuppgiften var en serie additions- och divisionsproblem, där både hastighet och kvalitet mättes. Försökspersoner var elever från årskurs 3 och 6. Ingen effekt av bullerkällorna kunde visas.

Typen av arbetsuppgift, dess svårighetsgrad, vilken kontext den presenteras i, exponeringstidens längd, och typen av buller verkar alla kunna spela en roll för resultaten. Smith och Broadbent (1980) använde sig av geometrisk uppgift där

försökspersonerna skulle finna en av fem enkla mönster i mer komplicerade mönster (dolda figurer). I den bullriga betingelsen fanns ett bredbandsbrus på 85 dBC, och i den tysta betingelsen var nivån 55 dBC. Två experiment gjordes och försökspersonerna, alla kvinnor, arbetade med uppgifterna under 8 minuter. Inga effekter av bullret kunde visas.

Hygge (1991) använde samma geometriska uppgift som Smith och Broadbent (1980) och fem andra arbetsuppgifter. Försökspersonerna fick dag 1 arbeta med uppgifterna vid 20°C och ett fläktbuller på 38 dBA. Dag 2 var betingelserna en av de fyra kombinationerna temperatur 19/27°C och fläktbuller 38/53 dBA. Resultaten visade att den högre fläktbullernivå i kombination med den lägre temperaturen försämrade prestationen (differensen dag 2 - dag 1) på de dolda figurerna.

En vanlig slutsats om bullers direkta inverkan på minne och uppmärksamhet är att buller förtydligar bearbetningsprocessen, så att texten utantillinläring av ordningsföljd mellan de enskilda enheter som presenteras blir vanligare på bekostnad av meningsfulla relationer mellan enheterna (Dae & Wilding, 1977). Smith (1985) prövade en liknande idé i fyra experiment med tre ljudkällor: (1) kontinuerligt brus, (2) intermittent brus och (3) ett konglomerat av meningsfulla ljud sammansatt av utsnitt från ett radioprogram, populärmusik och ljud från en skrivmaskin. Ljudtrycksnivåerna för brusljuden uppgavs till 85 dBC och konglomeratet hade sina maxvärden vid 85 dBC. Arbetsuppgifterna var ett test om mening och innehåll (semantiskt) och ett om logiska relationer (syntaktiskt). Prestationen på båda uppgifter försämrades av bullerkonglomeratet, men det kontinuerliga bredbandsbruset hade ingen effekt. Det intermittenta bullret störde den semantiska uppgiften, men inte den syntaktiska. Resultaten visar bl a betydelsen av meningsfulla ljuds inverkan på grundläggande processer för uppmärksamhet och korttidsminne.

Weinstein (1974; 1977) använde studenter som försökspersoner, läsförståelse och korrekturläsning som arbetsuppgifter. I korrekturet hade ett antal kontextuella fel (grammatik, felaktiga ord eller ord som saknas) och icke-kontextuella fel (typografiska fel och stavfel) förts in. Försökspersonerna fick bara se en rad åt gången av den text de läste utan möjlighet och gå tillbaka. Bullret var intermittent och kom från en terminalskrivare (teletype) i den första studien och från en inspelning av radionyheter i den senare studien. Ljudtrycksnivån på bullerstötarna i den första studien uppgavs till 70 dB och till 50 dB i pauserna. Ljudtrycksnivån i den tysta betingelsen i studie ett var ca 36 dB. I den senare studien angavs den högre ljudtrycksnivån till ett genomsnitt på 68 dBA och den tysta betingelsen till 42 dBA. Alla försökspersoner i den första studien arbetade under tystnad under ett första pass på 6 minuter och sedan antingen i buller eller tystnad under 2 perioder på 7 minuter. Försökspersonerna i den senare studien hade också ett inledande arbetspass i tystnad under 6 minuter, och sedan fyra pass vardera på 5 minuter med ordningen tyst-buller-buller-tyst för ena gruppen och buller-tyst-tyst-buller för den andra. Utan att ha informerat i förväg, gavs försökspersonerna i den första studien som avslutning ett erinringstest på den text de korrekturläst (den delen är ett inläringsexperiment). Försökspersonernas prestation i slutet av den inledande tysta fasen användes som kovariat i en kovariansanalys av resultaten. I den första

studien fanns ingen effekt av buller på erinringstestet, ej heller på hur många procent (relativt antalet lästa rader) icke-kontextuella fel som hittades. Bullergruppen hittade dock (procentuellt) färre kontextuella fel än vad den tysta gruppen hittade. Initialt hade bullret också effekten att försökspersonerna arbetade långsammare och ojämnare, men med fler rätta svar. Den senare studien replikerade resultaten att buller försvårar upptäckten av grammatikfel, men inte spelar någon roll för att upptäcka stavfel.

Jones m fl (1990) undersökte effekten av irrelevant tal (irrelevant speech) på korrekturläsning. De, som Weinstein, gjorde en åtskillnad mellan kontextuella och icke-kontextuella fel, och räknade upptäckta fel i relation till hur många rader försökspersonerna hunnit med att läsa. Bullret i de fem experimenten var olika varianter av irrelevant tal, uppspelat framlänges (begripligt) eller baklänges (obegripligt) med 50 eller 70 dBA, och flera röster med olika grad och typ av separation. Det fanns ingen skillnad mellan ljudtrycksnivåerna 50 och 70 dBA i hur många av felen försökspersonerna hittade. Meningsfullt tal var dock mer störande än baklängestalet på uppgiften att hitta de icke-kontextuella felen, medan upptäckten av kontextuella fel inte påverkades. I ett annat av experimenten visades att baklängestal vid 70 dBA inte skiljde sig från tystnad 35 dBA i antalet fel försökspersonerna gjorde. Meningsfullt tal med en ljudtrycksnivå på 50 dBA var en tillräcklig orsak till försämrad upptäckt av icke-kontextuella fel.

Här finns en motsättning i att irrelevant meningsfullt tal stör mer än meningslöst tal, men att det som störs inte är analysen av meningsfullhet i den text försökspersonerna läser. Här finns också en slags motsättning till Weinsteins (1977) resultat där irrelevant tal störde upptäckten av kontextuella fel. I Weinsteins studie gjordes dock jämförelsen mot en tyst kontrollgrupp, ej mot baklängestal. En delösning till båda motsättningar kan ligga i att Jones m fl (1990) i flera av sina experiment liksom Weinstein (1974; 1977) presenterade korrekturtexten med en rad i taget, vilket kan försvåra en analys av textens meningsfullhet. När Jones m fl i experiment 4 ökade antalet synliga rader från en till fem ökade upptäckten av grammatikfel, men ej de icke-kontextuella felen. Dock, framlänges- och baklängestal skiljde inte mellan hur många kontextuella fel som hittades.

Jones och medarbetare har i en serie studier från senare år teoretiskt fördjupat effekterna av irrelevant tal på seriellt korttidsminne (Jones m fl, 1990; 1997; 1999; Jones & Macken, 1995; Jones & Morris, 1992). Också andra fluktuerande ljud än tal kan ge samma effekt och Jones m fl har argumenterat för att effekten mer har att göra med hur talbullret påverkar minnesfunktioner än hur det påverkar distraktion när informationen tas in.

För läsförståelse, uppmätt samtidigt med att det irrelevanta talet hörs, har (Martin m fl, 1988) visat att försämringen är större om talet är begripligt (ljudtrycksnivå 82 dB i bullersekvenserna).

Hygge och medarbetare (Enmarker m fl, 1998; Hygge m fl, 1999) undersökte olika aspekter av minne och exponerade gymnasister ($N=96$) för vägtrafikbuller, irrelevant meningsfullt tal eller tystnad. Vägtrafikbullret och det irrelevant talet hade samma ekvivalenta ljudtrycksnivå 66 dBA L_{eq} , och de matchades med

avseende på maxvärden och nivåprofiler över tid. Flera av minnestesten togs från Betulastudien (Nilsson m fl, 1997; en prospektiv kohortstudie, $N > 3000$, av minne och hälsa över det vuxna levnadsloppet) och anpassades till buller-experiment.

För några av minnestesten fanns ingen i tiden åtskild inkodnings- och åter-givningsfas, och både inkodning och återgivning skedde i buller för två av grupperna och i tystnad för den tredje gruppen. Dessa test är prestationstest.

Andra minnestest hade en tiden åtskild inkodnings- och återgivningsfas och för dem skedde inkodning under buller för två grupper och under tystnad för den tredje. Återgivningsfasen skedde i tystnad för samtliga. Dessa test är inläringstest och behandlas längre fram i denna text.

Prestationstesten rörde uppmärksamhet (search-and-memory, primärt minne), verbalt flöde (verbal fluency, semantiskt minne), ordförståelse (word comprehension, semantiskt minne), och ordkomplettering (word-stem completion, PRS). Resultaten visar att både irrelevant meningsfullt prat och vägtrafikbuller försämrade uppmärksamhet ungefär lika mycket.

6.5.2 Slutsatser av experiment om prestation och korttidsminne

Relativt enkla och väl inlärd kognitiva färdigheter, som aritmetik, störs ej nämn-värt av buller. Svårare uppgifter, särskilt de som kräver en analys av mening eller innehåll är mer lättstörda, särskilt när bakgrundsbullret är meningsfullt, som t ex irrelevant tal. Bullerkällans kvalitativa egenskaper förefaller än en gång vara mer väsentliga än ljudtrycksnivåer.

För irrelevant mänskligt tal är ljudtrycksnivån inte särskilt avgörande för en prestationsnedsättning. Också låga ljudtrycksnivåer, med enstaka händelser ned mot 50 dBA är tillräckliga för att en effekt på korttidsminne eller prestation skall kunna visas.

De flesta prestationsstudier av buller har haft mycket korta exponeringstider, men det finns en tendens till att längre exponeringstider ger starkare effekter.

Inga generella könsskillnader i bullerpåverkan har vistas.

6.5.3 Fältstudier – prestation

I detta avsnitt redovisas först ett antal studier med relativt grova mått på ljud-exponering och individers färdigheter. Oftast har man använt sig av existerande kartor över bullerkonturer och t ex skolans egna standardprov. I senare delen av avsnitten redovisas studier med individuell mätning av ljudtrycksnivåer och mätresultat från test undersökarna själva administrerat.

Maser m fl (1978) hävdade som slutsats i en ofullständigt rapporterad studie, att buller försämrade skolprestationer, särskilt för de svagbegåvade och att effekten var starkast i de högre årskurserna (årskurs 7 och 10). Det redovisades inte hur bullerexponeringsdata tagits fram.

Lukas m fl (1981) undersökte läsförståelse och matematikkunskaper i årskurs 3 och 6, mätt med skolornas egna standardprov, i tysta och bullriga skolor som

matchades på socioekonomiska variabler. Ljudtrycksnivåerna i de tysta och bullriga skolorna redovisas inte i särskild ordning, men det hävdas att de mättes upp i egen regi. Utifrån en av figurerna kan de utläsas till 45-60 dBA, L_{eq} . Korrelationerna mellan ljudtrycksnivå och läsförståelse var starkare än sambandet mellan ljudtrycksnivåer och matematikkunskaper. Resultaten visar också en starkare effekt av ljudtrycksnivåerna på årskurs 6 än årskurs 3. I genomsnitt var eleverna i de bullriga skolorna 0,4 år efter i läskunskaper i årskurs 3 och 0,7 år efter i årskurs 6. I matematikkunskaper var både årskurs 3 och 6 0,2 år efter de tysta skolorna. En interaktionseffekt mellan buller i skolan och allmänt miljöbuller (community noise) noterades, med innebörden att i en tyst miljö kan ljudtrycksnivån i klassrummen vara högre utan att läsförståelse försämras.

Green m fl (1982) undersökte sambandet mellan ljudtrycksnivåer utomhus och andelen elever som låg efter ett år eller mer i läsförmåga. Enligt de tillgängliga uppgifterna från kartor över bullerkonturer varierade maximalvärdena mellan 85-95 dB och genomsnittsnivåerna mellan 59-66 dB, L_{eq} . Efter statistisk kontroll för socioekonomiska och etniska variabler, och lärarnas utbildning, visades ett säkert samband mellan ljudtrycksnivåer och andelen elever som låg efter i läskunnighet. Sambandet var starkare i de högre årskurserna (årskurs 5 och 6).

Weinstein och Weinstein (1979) jämförde läsförståelse hos elever i årskurs 4 som var med om sex testtillfällen under både tysta (medianvärde 45-49 dBA) och bullriga betingelser (medianvärde 58-61 dBA). Skolan hade en öppen planlösning och undersökarna valde i förväg ut tidpunkter när de naturliga ljudtrycksnivåerna i skolan var höga och låga. Resultaten visade ingen effekt av buller på läsförståelse eller läshastighet. Ej heller fanns någon interaktion mellan buller och begåvningsnivå.

Cohen m fl (1973) undersökte barn (årskurs 2-5) i ett hyreshus som var byggt ovanpå en bro med mycket vägtrafik. Ljudtrycksnivåerna inne i huset varierade från 66 dB i åttonde våningen till 55 dB i trettioandra våningen. Efter statistiska kontroller för socioekonomisk status och föräldrarnas utbildningsnivå fanns säkert ställda korrelationer mellan våningsplan och auditiv diskrimination (att höra en skillnad mellan t ex *gear-beer*, *cope-coke*) och mellan våningsplan och läsförmåga (mätt med ett standardprov i skolan). Styrkan i sambandet mellan bullerexponering och auditiv diskrimination var relativt svag för de barn som bott tre år eller kortare tid i huset, men starkare med ökat antal år därefter.

Bronzaft och McCharty (1975) jämförde läsförmåga mätt med ett standardprov i skolan, och ljudtrycksnivåerna i klassrum i en skola i närheten av ett järnvägs-spår för förortståg. Enligt skolledningen fördelades eleverna slumpmässigt över bullriga och mindre bullriga klassrum. Klasser i den bullriga delen av skolan matchades mot klasser i den mindre bullriga delen med avseende på intelligens, betygsnivå, årskurs och undervisningsmetoder. De maximala ljudtrycksnivåerna i klassrummen närmast järnvägen var 89 dBA. I medeltal stördes dessa klasser 30 sekunder varje 4,5 minut, dvs ca 10 procent av undervisningstiden kunde läraren inte göra sig hörd. Resultaten visar att eleverna i de bullriga klassrummen säkert ställt hade sämre läspoäng än eleverna i de tystare klassrummen. Eftersläpningen i

läsförmåga i de bullriga klasserna uppskattades till 3-4 månader i de lägre klasserna och upp till 11 månader i årskurs 6.

Järnvägsspåret utanför den skola Bronzaft och McCharty (1975) undersökte byggdes om 1978 och försågs med gummikuddar för att minska ljudtrycksnivåerna, och 1979 ljudisolerades tre av de bullrigaste klassrummen. De maximala ljudtrycksnivåerna minskade från 89 dBA till 81-83 dBA. Bronzaft (1981) gjorde ännu en studie av läsförmåga och fann att det 1978 fortfarande fanns samma skillnad som tidigare mellan de bullriga och mindre bullriga klassrummen, men att den skillnaden var borta 1980-81. Bronzaft noterar sin förvåning över att förändringen gick så snabbt och diskuterar möjliga felkällor i undersökningen. En sådan felkälla är att skolledningen kan ha selekterat de klasser som fick tillgång till de bullriga och mindre bullriga klassrummen. Som i förra studien försäkrades hon om att slumpen varit den enda fördelningsgrunden. Hennes slutsats är att den ökning i undervisningstiden ljuddämpningen orsakat, ger en grund för en bättre inlärningsmiljö och högre poäng på läsprovet.

Cohen m fl (1980) undersökte bl a läsförståelse och matematikkunskaper som de mätts upp i skolans reguljära standardprov. Elever (åk 3-4) från de fyra bullrigaste skolorna vid flygkorridorerna runt Los Angeles internationell flygplats jämfördes med tre matchade (socioekonomiskt, etniskt, socialhjälp, föräldrars yrke och utbildning) skolor i tysta områden. De maximala ljudtrycksnivåerna i de bullriga skolorna var 95 dBA och antalet överflygningar per dygn var ca 300. Maximala ljudtrycksnivån i de tysta skolorna uppmättes till 68 dBA. Genomsnittliga maximalvärden uppgavs till 74 dBA för de bullriga skolorna och till 56 dBA för de tysta skolorna. Resultaten visar inga skillnader mellan de tysta och bullriga skolorna i läsförståelse och matematikkunskaper.

Cohen m fl (1981) redovisar tvärsnitts- och längdsnittsanalyser av bl a läsförståelse och matematikkunskaper som de mätts upp i skolans reguljära standardprov. Efter datainsamlingen som gjorts i Cohen m fl (1980), byggdes flera av de bullriga klassrummen om till att bli tystare. I längdsnittsstudien undersöktes det ursprungliga samplet ett år senare, och för tvärsnittsstudien reanalyserades data från förra datainsamlingen med ljudisolerade (genomsnittligt maximalvärde 63 dBA) klassrum som en egen kategori. Tvärsnittsstudien visade att barn i årskurs 3 i ljudisolerade skolor var säkerställt bättre på matematikkunskaper än barn i både tysta och bullriga skolor. En tendens i samma riktning fanns också för läsförståelse. Författarna är dock tveksamma till om resultaten beror av buller. Andra faktorer, som kvalitet på undervisningen antogs vara viktigare för skillnaden i skolprestationer. I längdsnittsanalysen fanns inga effekter av ljudisolering på läsförståelse och matematikkunskaper.

I Cohen m fl (1980) och (1981) togs uppgifterna om barnens matematikkunskaper och läsförmåga ur skolregistren. Bullerbetingelserna för de testen var skolornas normala bullermiljö, vilket kan medföra att barnen i de bullriga skolorna presterade sämre på testen, även om deras inläring var lika god som för barn i tysta skolor.

För att få en renare testsituation använde de två studierna sig också av test i tystnad i en ljudisolerad husvagn. Ett av testen undersökte hur lätt distraherade

barnen var utifrån antagandet att barn som växer upp i bullriga miljöer slutar reagera på akustiska signaler och får svårigheter att urskilja språkljud och varningssignaler. Barnens uppgift var att läsa en text och stryka över alla förekomster av bokstaven "e". Alla barn fick göra uppgiften både under tystnad och ljudet från en mansröst som läste en berättelse. Resultaten i tvärsnittsstudien visar att barn i de bullriga skolorna, jämfört med barn i de tysta skolorna, presterar bättre under distraktion under de första två åren av den kroniska bullerexponeringen, men sämre efter fyra år. Resultaten i längdsnittsstudien är likartade. Initialt är barn som exponerats för kroniskt buller bättre på arbetsuppgiften under distraktion, men den skillnaden försvinner efter ett antal års bullerexponering. Resultaten, som inte var förväntade, tolkades som att barn i bullriga skolor initialt lär sig en selektiv uppmärksamhetsstrategi som stänger ut (tune out) auditiva signaler, men att de överger den strategin med tiden när de finner att den inte fungerar särskilt bra.

6.5.4 Slutsatser av fältstudierna om prestation

Med ett par undantag visar ett tiotal studier på försämrade skolkunskaper som resultat av buller. Ett genomgående resultat är också att effekten av buller är kumulativ och därför mer påtaglig i de högre årskurserna, som exponerats för kroniskt buller en längre tid. Läsförmåga förefaller vara mer känslig för bullerpåverkan än t ex matematikkunskaper, vilket förefaller rimligt med tanke på att läsfärdigheter kräver en verbal interaktion mellan lärare och elev, en interaktion som lätt störs av buller. Undersökningarna indikerar också att lågpresterande barn drabbas hårdare av buller.

Fältstudierna ger också vid handen att grundläggande uppmärksamhetsmekanismer och uthållighet/hjälplöshet/motivation påverkas negativt av kronisk bullerexponering.

6.6 Inlärningsstudier

6.6.1 Experiment – inläring

Andersson och Levin (1966) och Levin och Andersson (1968) redovisade en serie experiment med flervalsfrågor direkt efter inläsning av en text under buller. Försökspersonerna kom från olika årskurser (5, 7, 8), gymnasium, seminarium eller folkhögskola. (För elever från årskurs 3 användes prestationsmättet räkneprov under bullerexponeringen i stället för ett inlärningsprov efter exponeringen.) Bullret varierade mellan studierna. I några av undersökningarna var det lägenhetsljud, i andra popmusik, och i ännu andra "soft" instrumentalmusik. I några av delstudierna redovisas inga ljudtrycksnivåer för exponeringen, i andra redovisas de till 70 dB för soft musik, i ännu andra som genomsnittsnivån 45 dB för lägenhetsljud och ca 55 dB för popmusik. Resultaten visar inte på någon generell inlärningsnedsättning i bullergrupperna. För fem jämförelser av 20 mellan

bullerexponerade grupper och kontrollgrupper finns en säkerställd nedsättning i inlärn timer, i ett fall en säkerställd förbättring.

I en serie klassrumsexperiment med barn i åldern 12-14 år (Hygge, 1997) där alla barn läste texter (15 minuter) både i buller (66 dBA L_{eq}) och tystnad (~42 dBA L_{eq}) visades att långtid sinlärn timer över en vecka försämrades av den *akuta* bullerexponering från flyg och vägtrafik, men inte av buller från tåg och ett språk barnen inte förstod. Den försämrade inlärn timer visade sig bara på återgivningsfrågor där barnen själva måste formulera ett svar. På igenkänningsfrågor (multiple choice) försämrade bullret inte långtid sinlärn timer. Försämringen av inlärn timer (återgivning) var ungefär lika stor för dem som var duktiga på inlärn timer som för dem som inte var det. Vid en högre ljudtrycksnivå (66 dBA, L_{eq}) var det ingen skillnad mellan flyg- och vägtrafikbuller i graden av försämring. När ljudtrycksnivån för flyg- och vägtrafikbullret sänktes till 55 dBA L_{eq} försvann nedsättningen från vägtrafikbuller, men nedsättningen i inlärn timer från flygbuller bestod.

I klassrumsstudierna undersöktes också hur mycket av texterna barnen hann med att läsa. Om uppmärksamheten störs av buller borde barnen hinna med mer av texten under tystnad än under buller. Så var inte fallet. Oberoende av buller eller tystnad hann de med ungefär lika mycket av texten. Bullret ställer alltså inte till med någon enkel försämring av uppmärksamhet, utan en försämring av kvaliteten i den kognitiva bearbetning och lagring av det som läses.

I en särskild studie (Enmarker, 1996) utsattes pensionärer för samma betingelser och test som skolbarnen med flygbuller vid 66 dBA, L_{eq} . För pensionärerna var försämringen av inlärn timer säkerställt större än för skolbarnen. Pensionären visade också försämrat korttidsminne pga flygbullret.

I den studie om vägtrafikbuller, irrelevant meningsfullt tal och minne som delvis refererats ovan (Enmarker m fl, 1998; Hygge m fl, 1999) fanns också en inlärn timerdel, där gymnasisterna testades under tystnad för vad de kom ihåg av en text de läst under buller. Inkodning skedde i tystnad eller vägtrafikbuller eller irrelevant tal för följande uppgifter: meningar med och utan handlingskomponent (episodiskt minne med en motorisk komponent), ansikten och namn (oavsiktlig/avsiktlig inlärn timer, episodiskt minne), textläsning (episodiskt minne, texten var en modifiering av en text från klassrumsexperimenten). Testning av dessa uppgifter skedde i tystnad för samtliga med fri och stödd återgivning och igenkänning.

För att undersöka hypotesen om kontextberoende och inlärn timer testades alla försökspersoner i slutet av experimentet på återgivning av den lästa texten också under det vägtrafikbuller som vägtrafikbullergruppen hade vid inkodning.

Resultaten visade på en försämrade återgivning, men ej igenkänning, av texten när den lästs under vägtrafikbuller eller irrelevant tal. Något kontextberoende förbättring av minnet kunde inte visas. Det var en försämrade återgivning av texten i gruppen med vägtrafikbuller under inkodning, jämfört med tystnadsgruppen, också när återgivningen skedde i samma vägtrafikbuller som inkodningen.

6.6.2 Slutsatser experiment – inläring

Det finns ett starkt stöd för att återgivning av en text försämras både av vägtrafikbuller och irrelevant meningsfullt tal. Effekterna har påvisats ned till 55 dBA L_{eq} för flygplansbuller under de 15 minuter exponeringen varade. För vägtrafikbuller är nivån för säkerställda effekter något högre, ca 66 dBA L_{eq} för en 15 minuter exponering. Bullereffekterna är inte säkerställda på andra minnesfunktioner.

6.6.3 Fältstudier – inläring

I en stor studie (Evans m fl, 1995; 1998) av ca 350 skolbarn vid Münchens nya och gamla flygplats undersöktes hur flygbullret påverkade blodtryck, stresshormoner, kognition och motivation. Alla barn testades under tysta betingelser tre gånger med ett års mellanrum, en gång före och två gånger efter den gamla flygplatsen lades ned och den nya öppnades. De barn som utsattes för mycket flygbuller vid gamla flygplatsen jämfördes över de tre undersökningsomgångarna med en matchad kontrollgrupp av barn från liknande bostadsområden men utan flygbuller. På samma sätt jämfördes barn som blev flygbullerdrabbade vid den nya flygplatsen med en matchad, tyst kontrollgrupp. Barnen var i åldern 9-10 år när undersökningen började hösten 1991. Ljudtrycksnivåerna utomhus från flygbuller var mer än ca 63 dBA L_{eq} . Ljudtrycksnivåerna utan flygbuller var 56 dBA L_{eq} och lägre.

Det test för långtidsminne Münchenbarnen utsattes för gjordes med klassrums-experimenten i Hygge (1997) som mall och innehöll bara återgivningsfrågor. Resultaten för långtidsminne vid den nya flygplatsen visade inga säkerställda skillnader mellan den grupp som skulle få flygbuller och den tysta gruppen före flygplatsen öppnade. När flygtrafiken började blev de flygbullerdrabbade barnen sämre än sin kontrollgrupp på långtidsminne. Vid den gamla flygplatsen skedde det motsatta. Innan den gamla flygplatsen stängdes var de flygbullerexponerade barnen sämre på långtidsminne än sin kontrollgrupp, men när flygplatsen stängdes började skillnaderna minska för att försvinna vid tredje undersökningsvägen.

Samma resultatmönster som för långtidsminne visades för ett ordlistetest både vid den gamla och nya flygplatsen. Vid den nya flygplatsen visades också förhöjt blodtryck och höjda halter av stresshormoner.

På flera andra psykologiska test av t ex korttidsminne, problemlösning, reaktionstid och upplevt obehag av olika ljud fans ingen skillnad mellan grupperna.

Evans och Maxwell (1997) testade under tystnad barn i första och andra klass som exponerats för kroniskt flygbuller (inom konturen för 65 dBA L_{eq} , en överflygning var 6,6 minuter). De kroniskt bullerexponerade hade försämrade talperception, men inte ljudperception, jämfört med en matchad, icke flygbuller-exponerad grupp.

Att rätt uppfatta språkljud är centralt för att lära sig och behärska språket. Försämrade auditiv perception pga kronisk bullerexponering kan därför tänkas leda till försämrade språkförmågor. Barnen i studien av Evans och Maxwell (1997) prövades förutom i talperception och ljudperception också i läsförmåga. Läsför-

mågan var sämre för de flygbullerexponerade gruppen. Den försämrade talperceptionen antogs vara partiellt ansvarig för den försämrade läsförmågan

6.6.4 Slutsatser av fältstudier – inlärning

Språkbundna kognitiva förmågor är mer känsliga för kronisk bullerexponering än andra kognitiva och mentala förmågor. Återgivning av en text, men kanske inte igenkänning, är en sådan förmåga. Kronisk exponering för flygbuller förefaller vara värre än exponering för vägtrafikbuller. Inverkan av kronisk exponering för irrelevant meningsfullt tal är inte undersökt. Den nivåer som förefaller kritisk för flygbullereffekterna är i Münchenstudien omkring 60 dBA L_{eq} .

6.7 Eftereffekter – motivation

I studier av eftereffekter av buller studeras beteendet efter det att bullret slagits av. De arbetsuppgifter som utföras i bullerfasen och under den påföljande tystnaden är dock orelaterade, och det är därför inte fråga om någon traditionell inlärnings-situation.

Studier av eftereffekter initierades av Glass och Singers (1972) i deras numera klassiska arbete om buller och stress. I en vanlig eftereffektstudie utsattes försökspersonerna i en första fas för buller samtidigt som han/hon får arbeta med relativt enkla kognitiva uppgifter, som att finna bokstaven "A" i olika ord, att avgöra om två tal innehåller samma siffror eller att addera tal. Bullret hade ingen inverkan på hur bra dessa uppgifter klarades. Efter bullret slagits av fick försökspersonerna byta till en uppgift som innehållsmässigt var orelaterad till den första. I Glass och Singers studier var beroendemått (1) uthållighet i försök att lösa olösliga geometriska uppgifter (Feather-uppgiften), (2) korrekturläsning av en text med preparerade fel och (3) Stroop-testet, som bygger på en kognitiv konflikt mellan ordet för en färg (t ex *blå*) och den färg med vilket ordet presenteras (t ex *gul*). Alla tre beroendemått visade sig känsliga för manipulationen buller/tystnad i fas ett. Det buller Glass och Singer använde sig av, likaväl som många av efterföljarna, hade speciella karakteristika. På varandra i ett konglomerat lades ett samtal på spanska, en person som talade armeniska, ljuden från en stencilapparat, räknemaskin och skrivmaskin. Bullret presenterades intermittent (i sekvenser) och opredicerbart (både vad gäller när i tiden och varaktighet) med ljudtrycksnivåer i bullersekvenserna (genomsnittlig varaktighet nio sekunder, en sekvens per minut) från 56 till 108 dBA i olika experiment.

Utöver att använda sig av en experimentgrupp som utsattes för bullret och en grupp med tystnad varierade Glass och Singer graden av predicerbarhet hos bullret eller den upplevda kontrollen över bullerkällan. Predicerbarheten hos bullret gjordes hög genom att låta bullerstötarna komma i konstanta tidsintervall och med konstant duration. Den upplevda kontrollen över bullerkällan introduceras med en knapp bredvid försökspersonen och med instruktionen att den kunde användas för att slå av bullret om det blev för besvärande. En möjlighet som

ytterst få försökspersoner använde sig av. Predicerbarheten hos buller, likaväl som den upplevda kontrollen, reducerade eftereffekterna ned till de nivåer som fanns i kontrollgruppen med tystnad. Också för den relativt låga ljudtrycksnivån 56 dBA fanns en säkerställd skillnad i uthålligheten att lösa Feather-uppgiften mellan de grupper som exponerats för predicerbart och icke-predicerbart buller. Grupperna med predicerbart buller var mer uthålliga.

Efter Glass och Singer (1972) publicerade sitt arbete har ett stort antal liknande studier gjorts. I en översikt, Cohen (1980), drogs bl a slutsatserna att eftereffekter av opredicerbar, okontrollerbar stress, inte bara är begränsad till buller, utan har visats också för trängsel (crowding) och för arbetsbelastning (task load). Vad gäller buller har eftereffekten visats, om än med blandat resultat för intermittent, opredicerbart buller (som hos Glass och Singer). Cohen (1980, s 583) skriver dock att om analysen begränsas till de studier som använde ett klart opredicerbart buller och rimligt känsliga beroendemått (som Feather-uppgiften eller Stroop-testet, men kanske inte korrekturläsning), så ger studierna om intermittent buller ett klart stöd för att eftereffekterna är reliabla.

I nästan alla studier som använt kontinuerligt buller, som varierat enbart i styrka, eller kontinuerligt buller med inslag av konglomerat buller (se tabell 1 i Cohen, 1980) har eftereffekten också visats.

I en studie av Percival och Loeb (1980) jämfördes olika typer av buller i sin förmåga att framkalla eftereffekter. Den typ av bullerkonglomerat som Glass och Singer använde och flygbuller med snabb "onset" och "offset" (maximalvärde 95 dBA) gav eftereffekter på Feather-uppgifter, men inte vitt brus och flygbuller med gradvis onset och offset.

I Cohen m fl (1980) och (1981) undersöktes bl a uthållighet i problemlösning. Under 2,5 minuter fick hälften av barnen arbeta med ett olösligt pussel och andra hälften med ett lösbart. Därefter fick alla barn under 4 minuter pröva på ett lösbart, inte alltför svårt pussel. Beroendemått var hur länge barnen arbetade med pusslen till de fann en lösning eller gav upp. Hypotesen var att barn från bullriga skolor skulle ge upp tidigare på de olösliga pusslet och att de skulle behöva längre tid att finna en lösning för de lösbara pusslen. Resultaten från tvärsnittsstudien visar att barn i de bullriga skolorna var sämre på att lösa det första lösbara pusslet och det andra pusslet, och att de gav upp tidigare på det olösbara första pusslet. Skillnaden mellan de tysta och bullriga skolorna i uthållighet berodde av det antal år de bullerexponerats, på det sätt att ingen skillnad fanns mellan grupperna för de elever som varit kortare tid än 3,5 år i sin skola. Med mer än 3,5 år i samma skola använde barnen i de bullriga skolorna längre tid att lösa pusslet än barnen i de tysta skolorna. I längdsnittsstudien gavs barnen det andra pusslet ett år efter första testomgången. Barn i bullriga skolor tog längre tid på sig att lösa pusslen och misslyckades oftare än barnen i de tysta skolorna. Barn i skolor som ljudisolerats presterade sämre än barn i de tysta skolorna, men bättre än barn i de bullriga skolorna. Resultaten är förenliga med idén att barn i bullriga skolor, i kraft av kronisk bullerexponering, har lägre uthållighet och motivation.

I Münchenstudien (Evans m fl, 1995; 1998) visades också försämrad motivation och uthållighet vid den gamla flygplatsen innan den lades ned och vid den nya efter det den öppnats.

Flera förklaringar har förts fram för att tolka eftereffekterna. Glass och Singers (1972) arbetshypotes var att adaptationen till okontrollerbart och opredicerbart buller kräver ett visst kognitivt arbete. Detta arbete utgör en viss kostnad, en kostnad som är större ju större det kognitiva arbetet är. Desto större kostnad för den kognitiva anpassningen till okontrollerbart och opredicerbart buller, desto mindre kognitiv energi finns till övers för att lösa de svåra kognitiva uppgifterna under eftereffektfasen.

Cohen (1978; 1980) har en liknande hypotes som bygger på kognitiv trötthet (cognitive fatigue). Opredicerbar, okontrollerbar stress ökar kraven på uppmärksamhetsförmågan därför att de är hotande. En individs uppmärksamhetskapacitet är inte konstant utan krymper och tröttnas ut när den används en viss tid (jämför dock Klein & Beith, 1985). Glass och Singer använde också inlärningshjälp (Seligman, 1975) som en förklaring av eftereffekter. Försökspersoner som inte kan predicera eller kontrollera en yttre påfrestning (som buller), lär sig att det obehag de utsätts för är oberoende av deras beteende, vilket leder till sänkt motivation och sämre prestation också efter det att bullret upphört.

6.7.1 Slutsatser om eftereffekter – motivation

Intermittent slumpmässigt buller likaväl som kontinuerligt buller ger reliabla eftereffekter, särskilt på Feather-uppgiften och Stroop-testet. Svåra uppgifter störs mer. Flygbuller med markerade toppar och snabb onset har visat sig vara särskilt effektiva i att ge en eftereffekt.

Likaväl som för inlärning under buller finns det skäl som talar för att mänskligt tal som en del av ett bullerkonglomerat, eller ensamt, är en särskilt starkt påverkande bullerkälla. Eftereffekter av akut, intermittent bullerexponering på motivation och uthållighet har visats för så låga ljudtrycksnivåer som 56 dBA.

Studier av eftereffekter på barn saknas, och det går därför inte att avgöra om barn är mer eller mindre känsliga än vuxna. Det är heller inte undersökt hur varaktig eftereffekten är. I de studier som publicerats har tiden från bullerexponeringen till testet för eftereffekt varit kort, ofta mindre än 30 minuter.

6.8 Förslag till mått och bedömningsgrunder

De vanligen använda måtten för buller och bullerdoser (dBA , $\text{dBA}_{\text{max, fast}}$, Leq) förefaller i dag helt tillräckliga för att föreskriva riktvärden för buller i termer av genomsnittliga värden och enskilda bullertoppar.

Bullrets karaktär är ibland mer avgörande än dess ljudtrycksnivå. Irrelevant tal är ibland mer störande än maskinbuller och buller från transportmedel för prestation och inlärning. Bland buller från transportmedel är flygbuller mer försämrande än buller från vägtrafik.

6.9 Sammanfattning

Kognitiva förmågor, som rör språkförståelse, språkanvändning, är mer känsliga för kronisk och akut bullerexponering än andra minnes- och inlärningsförmågor. Ju svårare arbetsuppgiften är, desto mer försämras den av buller. Återgivning av en text försämras av buller, men kanske inte igenkänning av texten.

Kronisk och akut exponering för flygbuller är värre än exponering för vägtrafikbuller. Inverkan av kronisk exponering för irrelevant meningsfullt tal är inte undersökt, men effekterna av akuta exponeringar för irrelevant meningsfullt tal är ungefär lika starka som för vägtrafikbuller.

Den genomsnittliga utomhusnivå som förefaller kritisk för flygbullerexponering är omkring 60 dBA L_{eq} . Flera enstaka bullerhändelser med ca 65 dBA_{max, fast} (inomhusnivå) efter varandra under kort tid (15-20 minuter) är tillsammans tillräckliga för att försämra inläring.

6.10 Referenser

- Andersson BE & Levin L (1966) *Inläring till ljud och oljud*. Report 20 from the Department of Education, University of Gothenburg.
- Bronzaft AL & McCarthy DP (1975) The effect of elevated train noise on reading ability. *Environment and Behavior*, 7, 517-527.
- Bronzaft AL (1981) The effect of a noise abatement program on reading ability. *Journal of Psychology*, 1, 215-222.
- Cason H (1938) The influence of attitude and distraction. *Journal of Experimental Psychology*, 22, 532-546.
- Christie DJ & Glickman CD (1980) The effect of classroom noise on children: Evidence for sex differences. *Psychology in the Schools*, 17, 405-408.
- Cohen S (1980) Aftereffects of stress on human performance and social behavior: A review of research and theory. *Psychological Bulletin*, 87, 578-604.
- Cohen S, Evans GW, Krantz DS & Stokols D (1980) Physiological, motivational, and cognitive effects of aircraft noise on children: Moving from the laboratory to the field. *American Psychologist*, 35, 231-243.
- Cohen S, Evans GW, Krantz DS, Stokols D & Kelly S (1981) Aircraft noise and children: longitudinal and cross-sectional evidence on adaptation to noise and the effectiveness of noise abatement. *Journal of Personality and Social Psychology*, 40, 331-345.
- Cohen S, Evans GW, Stokols D & Krantz DS (1986) *Behavior, Health and Environmental Stress*. New York: Plenum.
- Cohen S, Glass DC, & Singer JE (1973) Apartment noise, auditory discrimination, and reading ability in children. *Journal of Experimental Social Psychology*, 9, 407-422.
- Daele S & Wilding J (1977) Effects of high intensity white noise on short-term memory for position in a list and sequence. *British Journal of Psychology*, 68, 335-349.
- Enmarker I (1996) The effects of aircraft noise on older persons' cognitive performance and experience of stress and arousal. Opublicerad magisteruppsats. Uppsala Universitet, Centrum för omvårdnadsvetenskap, Uppsala.
- Enmarker I, Boman E & Hygge S (1998) The effects of noise on memory. In Carter N & Job RFS eds. *Noise Effects '98 – Proceedings of the 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem. Vol. 1* (pp. 353-356). Sydney, Australia: National Capital Printing ACT.

- Etaugh C & Michals D (1975) Effects on reading comprehension of preferred music and frequency of studying to music. *Perceptual and Motor Skills*, 41, 553-554.
- Etaugh C & Ptasnik P (1982) Effects of studying to music and post-study relaxation on reading comprehension. *Perceptual and Motor Skills*, 55, 141-142.
- Evans GW, Bullinger M & Hygge S (1998) Chronic noise exposure and physiological response: A prospective study of children living under environmental stress. *Psychological Science*, 9, 75-77.
- Evans GW, Hygge S & Bullinger M (1995) Chronic noise and psychological stress. *Psychological Science*, 6, 333-338.
- Evans GW & Lepore SJ (1993) Nonauditory effects of noise on children: A critical review. *Children's Environments*, 10, 31-51.
- Evans GW & Maxwell L (1997) Chronic noise exposure and reading deficits. *Environment and Behavior*, 29, 638-656.
- Fendrick P (1937) The influence of music distraction upon reading efficiency. *Journal of Educational Research*, 31, 264-271.
- Freeburne CM & Fleischer MS (1952) The effect of music distraction upon reading rate and comprehension. *The Journal of Educational Psychology*, 43, 101-108.
- Glass DC & Singer JE (1972) *Urban Stress: Experiments on Noise and Social Stressors*. New York: Academic Press.
- Green KB, Pasternack BS & Shore RE (1982) Effects of aircraft noise on reading ability of school-age children. *Archives of Environmental Health*, 37, 24-31.
- Hall JC (1952) The effect of background music on the reading comprehension of 278 eighth and ninth grade students. *Journal of Educational Research*, 45, 451-458.
- Hamilton P, Hockey GRJ & Rejman M (1977) The place of the concept of activation in human information processing theory. In Dornic S ed *Attention and Performance*. Vol. 6. New York: Academic Press.
- Hygge S (1997) The effects of different noise sources and noise levels on long-term memory in children aged 12-14 years. In Schick A & Klatte M eds. *Contributions to Psychological Acoustics. Results of the Seventh Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics* (pp. 483-501). Oldenburg, Germany: Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg.
- Hygge S, Boman E & Enmarker I (1999) The effects of meaningful irrelevant speech and road traffic noise on different memory systems. Manuskript under bedömning för publicering.
- Johansson CR (1983) Effects of low intensity, continuous, and intermittent noise on mental performance and writing pressure of children with different intelligence and personality characteristics. *Ergonomics*, 26, 275-288.
- Jones DM, Alford D, Brides A, Tremblay S & Macken WJ (1999) Organizational factors in selective attention: The interplay of acoustic distinctiveness and auditory streaming in the irrelevant sound effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, 464-473.
- Jones DM, Macken B & Mosdell N (1997) Acoustic and organisational factors in the processing of irrelevant sound. In Schick A & Klatte M eds. *Contributions to Psychological Acoustics. Results of the Seventh Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*. Oldenburg, Germany: Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg.
- Jones DM & Macken WJ (1995) Phonological similarity in the irrelevant speech effect: Within- or between-stream similarity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 103-115.
- Jones DM, Miles C & Page J (1990) Disruption of proofreading by irrelevant speech: Effects of attention, arousal or memory? *Applied Cognitive Psychology*, Vol. 4, 89-108.

- Jones DM & Morris N (1992) Irrelevant speech and cognition. In Smith AP & Jones DM eds. *Handbook of Human Performance: Vol. 1. The Physical Environment* (pp. 29-54). London: Academic Press.
- Kassinove H (1972) Effects of meaningful auditory stimulation on children's scholastic performance. *Journal of Educational Psychology*, 63, 526-530.
- Klein K & Beith B (1985) Re-examination of residual arousal as an explanation of aftereffects: Frustration tolerance versus response speed. *Journal of Applied Psychology*, 70, 642-650.
- Levin L & Andersson BE (1968) *Inlärning till ljud och oljud II*. Report 28, Department of Education, University of Gothenburg.
- Lukas JS, DuPree R & Swing J (1981) *Report on a study of the effects of freeway noise on academic achievement of elementary school children, and a recommendation for a criterion level for a school noise abatement program*. Sacramento, CA: Office of Noise Control, Epidemiological Studies Section, California Department of Health Services.
- Martin RC, Wogalter MS & Forlano JG (1988) Reading comprehension in the presence of unattended speech and music. *Journal of Memory and Language*, 27, 382-398.
- Maser AL, Sorensen PH, Kryter KD & Lukas JS (1978) *Effects of intrusive sound on classroom behavior: Data from a successful lawsuit*. Paper presented at Western Psychological Association. San Francisco, California.
- Nantais KM & Schellenberg EG (1999) The Mozart effect: An artifact of preference. *Psychological Science*, 10, 370-373.
- Percival L & Loeb M (1980) Influence of noise characteristics on behavioral aftereffects. *Human Factors*, 22, 341-352.
- Rauscher FH, Shaw GL & Ky KN (1993) Music and spatial task performance. *Nature* 365, 611.
- Rauscher FH, Shaw GL & Ky KN (1995) Listening to Mozart enhances spatial-temporal reasoning. *Neuroscience Letters*, 185, 44-47.
- Seligman MEP (1975) *Helplessness: On Depression, Development, and Death*. San Francisco: Freeman.
- Smith AP (1985) The effects of different types of noise on semantic processing and syntactic reasoning. *Acta Psychologica*, 58, 263-273.
- Smith A & Broadbent DE (1980) Effects of noise on performance on embedded figures tasks. *Journal of Applied Psychology*, 65, 246-248.
- Steele KM, Bass KE & Crook MD (1999) The mystery of the Mozart effect. *Psychological Science*, 10, 366-369.
- Weinstein CS & Weinstein ND (1979) Noise and reading performance in an open space school. *Journal of Educational Research*, 72, 210-213.
- Weinstein ND (1974) Effects of noise on intellectual performance. *Journal of Applied Psychology*, 59, 548-554.
- Weinstein ND (1977) Noise on intellectual performance: A confirmation and extension. *Journal of Applied Psychology*, 62, 104-107.

7. Lågfrekvent buller

Kerstin Persson Waye, avdelningen för Miljömedicin, Göteborgs universitet

7.1 Definition

Lågfrekvent buller saknar internationell fastställd definition. Med låga frekvenser avses vanligen frekvensområdet upp till 200 Hz (Persson Waye, 1995a). Andra definitioner som förekommer är frekvenser upp till 500 Hz (Castelo Branco m fl, 1999), 250 Hz (t ex Berglund m fl, 1996) eller 160 Hz (Miljøstyrelsen, 1997). Avgränsningen mot infraljud sker vid 22 Hz, men i praktiken kommer vissa ljud, vid tillräckligt höga ljudnivåer att innehålla såväl perceptibla infraljud som låga frekvenser. För att avgöra om ett buller är lågfrekvent kan en första översiktlig kontroll vara att jämföra dBC- och dBA- nivån, är skillnaden större än 15-20 dB kan bullret anses vara lågfrekvent. Denna översiktliga kontroll bör dock endast användas då dBA-nivån är högre än ca 30 dBA. Uppfattas bullret som lågfrekvent bör en tersbandsanalys göras för att ge noggrannare bedömningsunderlag. Med avseende på effekter på människan har erfarenheten från ett stort antal fallstudier visat att dessa uppträder när bullret innehåller ljudtrycksnivåer inom lågfrekvensområdet som är högre, relativt ljudtrycksnivåerna över ca 200 Hz. Med avseende på effekter kan därmed ett lågfrekvent buller definieras som ett buller med dominerande frekvenser upp till 200 Hz. Denna definition överensstämmer med definitionen för de riktvärden som gäller för lågfrekvent buller i den allmänna miljön (SOSFS 1996:7(M)) och kommer därför att i fortsättningen att användas i detta dokument.

7.2 Lågfrekventa bullerkällor i arbetsmiljön

De vanligaste källorna till lågfrekvent buller i arbetsmiljön är större ventilations-system, klimatanläggningar, dieselmotorer (tunga fordon, arbetsmaskiner) flygplan (propellerplan, helikoptrar, jettflygplan) och kompressorer (kylkompressorer, tryckluftsborrar). Lågfrekvent buller alstras även vid sprängning och vid användande av tungt artilleri. På grund av den relativt sett lägre dämpningen av låga frekvenser av byggnadskonstruktioner och hörselskydd, kommer ett dämpat buller att i högre grad vara dominerat av låga frekvenser. Exempel på situationer där det resulterande ljudet kan innehålla en stor andel låga frekvenser är, inbyggda kontrollrum, styr och förarhytter samt vid användning av traditionella hörselskydd.

7.3 Effekter

7.3.1 Upplevelse av lättnad när källan stängs av

Jämfört med högfrekvent buller är inte lågfrekvent buller omedelbart distraherande. En vanlig reaktion på LFB och speciellt ventilationsbuller är en känsla av lättnad när källan stängs av även om man tidigare inte varit medveten om bullrets närvaro. Landström m fl (1991a) rapporterade att i medeltal 65 procent av 155 anställda på kontor upplevde en subjektiv känsla av lättnad, medan 16 procent inte märkte någon skillnad när ventilationssystemen stängdes av på kvällen. Med syfte att undersöka betydelsen av denna upplevelse för arbetsprestation genomförde Kjellberg och Wide (1988) ett försök där försökspersonerna inte var medvetna om att ventilationsbullernivån på 51 dBA var del av försöket. Två grupper jämfördes, en grupp som arbetade i tystnad och där bullret efter 20 minuter slogs på (tystnad-buller) och en grupp som arbetade i buller och där bullret efter 20 minuter slogs av varpå de arbetade de resterande 5 minuterna i tystnad (buller-tystnad). Resultaten visade att svarstiderna var längre för gruppen buller-tystnad jämfört med gruppen tystnad-buller. Detta kan tyda på att bullret försämrade inlärningen. Antalet fel var högre i buller-tystnad och när exponeringen stängdes av minskade antalet fel signifikant. Den svaga ökning av responstiden som samtidigt inträdde för denna grupp kunde inte förklara minskningen av antalet fel.

7.3.2 Störning och subjektiva besvär

Den effekt av lågfrekvent buller som är vanligast förekommande i litteraturen är upplevd störning. Flertalet fallstudier från såväl omgivningsmiljön som arbetsmiljön rapporterar att störning förekommer trots att LAeq nivån ligger inom tillåtna gränser för vanligt buller i respektive land (t ex Tempest, 1973; Vasudevan & Gordon, 1977; Challis & Challis, 1978; Leventhall, 1980; Fuchs, 1990; Cocchi, m fl, 1992). De vanligaste rapporterade symtomen är huvudvärk eller en tryckkänsla över huvudet, onormal trötthet, koncentrationssvårigheter, irritation, vibrationer i kroppen samt en känsla av tryck över trumhinnan (t ex Tempest, 1973; Scott, 1978; Leventhall, 1980; Lundin & Åhman, 1998). Dessa rapporter härrör från fallstudier och kan således vara behäftade med flera felkällor, trots detta är samstämmigheten i såväl symtom som dos beskrivning god. Förutom fallstudier finns två studier från den allmänna miljön där förekomst av störning och symtom undersökts. En tvärsnittstudie utfördes bland 108 slumpmässigt utvalda människor exponerade för ett lågfrekvent ventilations/värmepumpsbuller i sin bostad samt 171 slumpmässigt utvalda människor exponerade för ett mellanfrekvent ventilations/värmepumpsbuller (Persson Waye och Rylander, insänd för publicering). Resultaten visade att andelen störda ökade med ökat lågfrekvensinnehåll och att andelen störda var 15 procent respektive 20 procent i områden med lågfrekvent buller, vilket var signifikant högre jämfört med kontrollområdena där 3-4 procent rapporterade störning. Då endast områden med jämförbara dBA-nivåer togs med i analysen kvarstod de signifikanta skillnaderna. I områden med

lågfrekvent bullerexponering rapporterades även signifikant högre förekomst av störd vila/avkoppling och störd koncentration, och även dessa symtom ökade med ökat innehåll av låga frekvenser i ljudet. I studien fanns även en relation mellan störning för lågfrekvent buller och huvudvärk, irritation och sömnrelaterade besvär. Dessa symtom samt tryckkänsla över huvudet, smärta i armar och ben samt yrsel rapporterades även från en studie bland människor boende på olika avstånd från en stor motorväg i Japan (Nagai m fl, 1989). I denna studien ingick totalt 368 familjer exponerade för infraljud, lågfrekvent ljud och vibrationer. Jämförelser gjordes med 98 kontroll familjer boende på längre avstånd från vägen. Frekvensen av dessa symtom visade ett signifikant samband med avståndet från motorvägen.

Från arbetsmiljön finns ett mindre antal studier redovisade av störningsreaktioner för lågfrekvent buller. Störnings- och besvärsundersökningar i fyra kontorsmiljöer med lågfrekvent ventilationsbuller visade att störningsskattningen i medeltal var ”knappast alls” till ”något störande” för två kontor med genomsnittliga dBA-nivåer på 33,5 och 35,3 dBA och ”något” till ”ganska störande” för kontor med genomsnittliga nivåer på 38,5 till 39,2 dBA (Landström m fl, 1991a). Skillnaderna mellan de kontor med låg respektive högre dBA-nivåer var signifikant. Denna störningsskattning stämmer väl med vad som erhållits i två experimentella försök med lågfrekvent ventilationsbuller (LFB) och mellanfrekvent ventilationsbuller (MFB) vid nivåer kring 40 dBA (Persson Wayne m fl, 1997, Persson Wayne m fl, manuskript). I det första försöket arbetade 14 personer arbetade med olika prestationstest under en exponeringstid på 60 minuter, skattades LFB i medeltal som ”något störande” och bedömdes ge upphov till att arbetsförmågan ”försämrades något”, motsvarande skattningar för MFB var ”inte alls” till ”något” störande och bedömdes ge upphov till ”ingen” påverkan av arbetsförmågan till att arbetsförmågan ”försämrade något”. I det efterföljande försöket arbetade 32 personer med olika tester under 2,5 timmar för samma ljudexponering som i det tidigare försöket. Skattningen av LFB vid 40 dBA var i medeltal ”något” till ”ganska störande” och motsvarande bedömningar för MFB var i medeltal ”något störande”. Bullret bedömdes försämma arbetsprestationen ”ganska mycket” eller ”mycket” av 34 procent av försökspersonerna under LFB och av 22 procent under MFB. Ingen inverkan angavs av 25 procent av försökspersonerna under LFB samt av 41 procent under MFB. Såväl bedömd störning som prestationspåverkan var signifikant högre för LFB. Den något högre skattningen som gjordes i det senare försöket skulle åtminstone delvis kunna förklaras av den längre exponeringstiden. Förhållandet mellan exponeringstid i experimentella försök och störning är dock inte helt entydigt. Således fann Möller m fl (1984) ingen förändring av skattad störning mellan exponeringstider på 3 till 15 minuter. Motsatt resultat erhöles av Holmberg m fl (1993), vilka fann ökad störning från 5 minuter, 30 minuter till 60 minuters exponeringstid. Eftersom försöksuppläggningsen i Holmberg m fl (1993) omfattade såväl längre exponeringstider som en realistisk aktivitet under exponeringen motsvarade detta försök i högre grad en verklig situation. Resultaten kan därför i högre grad förväntas

avspegla uppkomna effekter i arbetsmiljön. Holmberg m fl (1993) fann vidare att en signifikant lägre störning erhöles när ljudnivån sänktes från 40 till 35 dBA.

Subjektiv värdering av arbetsprestation gjordes i en fältundersökning där 155 kontorsanställda exponerades för lågfrekvent ventilationsbuller vid ca 40 dBA. Av dessa uppgav 14 procent att de upplevde koncentrationsproblem dagligen eller 1-3 gånger/vecka och 19 procent rapporterade att ventilationsbullret negativt påverkade deras arbetsförmåga (Landström m fl, 1991a).

Störningsskattningen är som nämns i kapitel 5 även beroende av en rad andra faktorer varför slutsatser baserade på studier i kontorsmiljö inte direkt kan överföras till arbetsmiljöer med andra ljudnivåer och krav. Således fann (Landström m fl, 1992) i en arbetsmiljöundersökning bland 439 arbetstagare sysselsatta inom olika typer av verksamheter, generellt en lägre störning jämfört med tidigare erhållen störning i kontorsmiljöer. De fann även att en och samma ljudnivå skattades lika störande oavsett om man arbetade i en låg-, mellan- eller högfrekvent bullerexponering. Slutsatserna måste dock tolkas med viss försiktighet då de dos-responssambanden innehöll en stor störningsspridning samt innehöll en icke likvärdig fördelning av antalet arbetstagare i de olika frekvensgrupperna.

Observationen att A-vägningen undervärderar störning från lågfrekventa buller stöds av ett flertal experimentella studier (Kjellberg m fl, 1984; Kjellberg & Goldstein, 1985; Persson m fl, 1985; 1990; Persson & Björkman, 1988). I Persson m fl (1990) exponerade totalt 98 försökspersoner för ventilationsbuller centrerade vid 80, 250, 500 och 1000 Hz vid samma dBA-nivåer. Det lågfrekventa ljudet centrerat vid 80 Hz gavs i medeltal högre störning från 45 dBA men signifikanta skillnader kunde endast påvisas vid 60, 65 och 70 dBA. Graden av underskattning har studerats i två experimentella studier med olika metodik. I Kjellberg m fl (1984) ombads försökspersoner justera nivån på två bredbandiga buller innehållande hög respektive låg andel låga frekvenser med syfte att erhålla lika störning. De fann att A-vägningen undervärderade störning för ett buller med hög andel av låga frekvenser med 5 dB vid 50 dBA och 8 dB vid 86 dBA. I Byström m fl (1991) ombads två grupper om 24 personer att ställa in den "högsta nivå där det gick att bibehålla prestationsnivån utan någon extra ansträngning" för ett bredbandigt ljud med mittfrekvensen 100 Hz, eller ett bredbandigt ljud med mittfrekvensen 1000 Hz. Den inställda nivån för ett rutinartat reaktionstidstest var 51,9 dBA för 100 Hz ljudet och 58 dBA för 1000 Hz ljudet. För ett mer mentalt krävande verbalt test, var den inställda nivån 46,4 dBA för 100 Hz och 52,8 dBA för 1000 Hz. Den acceptabla nivån var således ca 6 dBA lägre för det lågfrekventa ljudet och det var även ca 6 dBA skillnad i inställd nivå mellan de två uppgifterna.

Flera försök har gjorts för att ersätta A-vägningen med ett annat bullermått. Shield m fl (1989; 1991) fann högst korrelation mellan störning och lågfrekvent buller från Docklands "lättniktståg" när bullret beräknades utifrån dB lin, dB_{lf} (total medel energi för tersbanden 25 till 200 Hz), och dBC. Andra studier (Kjellberg & Goldstein, 1985), fann att upplevd ljudstyrka för lågfrekvent buller bäst predicerades av dBB följt av dBD, PhonDB (ISO 1975) och PLdB (Stevens, 1972). I den tidigare nämnda arbetsmiljöstudien (Landström m fl, 1992) var sambandet mellan störning och individuell uppmätt bullernivå förhållandevis

likvärdigt för dBLin, dBA, dBB, dBC och dBD. Sambanden var dock generellt svaga. När måtten dBA-dBC och Zwickers loudness (sone) inkluderades i analysen ökade inte förklaringsgraden nämnvärt (Holmberg m fl, 1996).

En senare studie syftade till att analysera hur väl skillnaden mellan dBC och dBA predicerade störning för lågfrekvent ljud utgående från ett stort antal mätningar av störning och ljudtrycksnivåer i olika arbetsmiljöer (Kjellberg m fl, 1997). Resultaten visade att när bullerexponeringen angavs som skillnaden mellan dBC och dBA ledde detta till en liten men signifikant ökning på 1,4 procent av den förklarade variansen av störning.

Baserat på empiriska data från fallstudier, fältstudie samt en genomgång av litteraturen togs en bedömningskurva för lågfrekvent ljud i omgivningsmiljön fram (Persson Waye, 1995b). Bedömningskurvan är baserad på tersbandsnivåer vilka inte får överskridas och har kommit att bilda underlag för bedömning av lågfrekvent buller i den allmänna miljön i Socialstyrelsens allmänna råd för buller (SOSFS 1996:7 (M)). Kurvor eller ”noise ratings” som inte bör överskridas har sedan 1950 talet (Beranek, 1957) funnits som rekommenderade värden för värme- och ventilationssystem i USA. Dessa kurvor har modifierats ett antal gånger och för närvarande pågår studier för erhålla en kurva som bättre tar hänsyn till störning för lågfrekvent buller (Broner, 1994). I Europa finns enligt min kännedom rekommendationer för bedömning av lågfrekvent buller i omgivningsmiljön i Tyskland (DIN 45680, 1997) vilken är baserad på arbeten av Piorr och Wietlake (1990) samt i Danmark (Miljøstyrelsen, 1997) vilken utgått från erfarenheter i Holland (Vercammen, 1989; 1992). I Polen pågår arbete med att ta fram bedömningsunderlag för lågfrekvent buller i omgivningsmiljön. I en undersökning omfattande ett stort antal mätningar av olika ljudkällor som gav upphov till lågfrekvent buller inne i bostäder, jämfördes olika sätt att bedöma dessa ljud, inklusive sone, phon, LFA, (summan av A-vägda tersband 25-160 Hz) LA (10-dBA) samt dBA (Mirowska, 1998). För flera av dessa typfall fungerade riktvärdet LFA=20 och LA=25 väl, men för ljud med enstaka tersband överstigande bakgrunden, vilket kan vara fallet för maskinljud med varvtalsrelaterad tonala komponenter, kyl- och frys kompressorer etc fungerade inget av de sammanvägda måtten. Min egen bedömning av materialet är att Socialstyrelsens rekommendationer för lågfrekvent buller (SOSFS, 1996:7 (M)) skulle fungera även för dessa typer av ljud.

Sammanfattningsvis tyder föreliggande studier på att i arbeten med hög grad av koncentration och uppmärksamhet kan en relativt utbredd störning förekomma vid relativt svaga dBA-nivåer (kring 40 dBA). Studier från kontorsmiljöer tyder på att nivåer vid 40 dBA i medeltal motsvaras av ”ganska störande”. Experimentella studier tyder på att dBA-vägningens underskattning av ett lågfrekvent buller är i storleksordningen 6 dBA vid nivåer kring 40-50 dBA samt högre vid högre ljudnivåer. I fält- och experimentella studier har dock sambandet mellan dBA-nivån och störning varit lågt. För arbetsplatser med högre ljudnivåer saknas underlag. Det är osäkert vilket dos-responssamband som finns samt vilka effekter som framträder vid högre nivåer.

Det finns ett brett underlag från framförallt fallstudier vilka visar på en symtombild innehållande trötthet, huvudvärk, irritation samt en känsla av tryck över trumhinnan och huvudet. Dessa symtom skulle kunna påverka arbetstagares prestation och välbefinnande. Denna symtombild framträder vid förhållandevis låga nivåer och kunskapen är mindre för effekter vid högre nivåer >60-65 dBA. Det saknas dock epidemiologiska studier som visar på ett kausalt samband mellan lågfrekvent buller och flertalet symtom. För trötthet finns ett något säkrare underlag, vilket redovisas i följande avsnitt.

7.3.3 Sänkt vakenhet/ökad trötthet

Subjektiva rapporter om onormal trötthet är vanligt förekommande i fallstudier. Om kontinuerlig lågfrekvent buller ger upphov till sådana reaktioner skulle detta kunna påverka personers arbetsförmåga bland annat genom att sänka uppmärksamhet och koncentration. Sänkt vakenhet registrerad genom förändringar av EEG har tidigare observerats efter infraljudsexponering vid 6 och 16 Hz, vid nivåer ca 10 dB över perceptionströskeln (Landström m fl, 1983). För lågfrekvent buller finns enligt min vetskap endast en studie där sänkt vakenhet har studerats med EEG (Landström m fl 1985). I denna studie exponerades 31 försökspersoner för en ton vid 42 Hz amplitudmodulerad med 6 Hz vid nivån 70 dB SPL. Jämförelser gjordes med en 1000 Hz ton amplitudmodulerad med 6 Hz vid 30 dB SPL. En tendens till sänkt vakenhet mätt som förändring av alfa och theta aktivitet uppträdde efter 15 minuters exponering för 42 Hz tonen.

Subjektiv rapportering om trötthet och uttröttnings efter arbetet kartlades bland 439 anställda inom laboratorier, kontor och industri (Tesarz m fl, 1997). Ljudnivåer uppmättes vid varje persons arbetsplats och skillnaden mellan dBC och dBA användes som en indikator på lågfrekvensinnehåll. Resultaten visade att de 17 arbetstagare som arbetade i buller där skillnaden mellan dBC och dBA översteg 15 dB, rapporterade i signifikant högre omfattning trötthet efter arbetet. Denna grupp rapporterade även signifikant högre störning av buller. Tolkningen av detta material måste dock göras med stor försiktighet på grund av de låga antalet personer inom det studerade intervallet och då flera andra faktorer utanför arbetet, vars eventuella inverkan inte analyserades i studien, skulle kunna bidra till trötthet efter arbetet.

Stöd för att höga ljudnivåer med innehåll av låga frekvenser skulle kunna ge upphov till trötthet finns från en studie bland 24 flygtekniker vid en flygflottilj där trötthetsreaktioner mättes under två arbetsveckor (Kjellberg m fl, 1992). Ena veckan arbetade de på plattan med hög bullerexponering (96-100 dBLAeq, 124-138 dBmax) och andra veckan arbetade de på kompaniet med låg bullerexponering. Oktavbandsnivåer visade att bullret innehöll dominerande ljudtrycksnivåer i oktavbandet 250 Hz, samt även höga ljudtrycksnivåer i oktavbanden 2 och 4 kHz. Trötthets- och stresskattningar gjordes före och efter arbetsdagens slut och under sista dagen i arbetsveckan genomfördes en reaktionstidsuppgift, känslig för trötthet. Resultaten visade att flygteknikerna skattade högre grad av trötthet och hade längre reaktionstider under veckan på plattan. Tröttheten tycktes även

byggas upp över veckan. En uppföljande studie av 16 flygtekniker gjordes för att ytterligare studera förekomst av ackumuleringseffekter av trötthet under en veckas arbete på plattan (Kjellberg m fl, 1998). Varje morgon och kväll utfördes en reaktionstidsuppgift samt skattning av trötthet. Resultaten från prestationstesten gav stöd för den tidigare observationen att reaktionstiden försämrades gradvis under veckan. Motsvarande försämring av vakenhet kunde inte påvisas utifrån den subjektiva skattningen. En tredje studie genomfördes med liknande design bland besättningar på två olika typer av fartyg vid kustflottan, totalt 29 personer (ibid). Den ekvivalenta ljudnivån var 80 dBA till havs och mellan 50-60 dBA när båten var vid kaj (kontroll dagar). Inga signifikanta skillnader i reaktionstid kunde påvisas för besättningen i patrullbåten mellan dagar till havs och kontroll dagar. För experimentfartyget som var en "svävare" kunde en förlängd reaktionstid påvisas på eftermiddagen och denna effekt var störst när besättningen var till havs. Den enda skillnaden mellan bullerexponeringen på fartygen var att bullret hade ett starkare inslag av låga frekvenser på experimentfartyget. Om trötthetsreaktionerna kan tillmätas bullerexponeringen var det således det lågfrekventa inslaget som låg bakom dem. Detta fartyg hade dock även starkare vibrationer vilket skulle kunna bidra till tröttheten. Någon närmare beskrivning av ljudspektra eller specifika data rörande vibrationsnivåerna för de båda skeppen ges dock inte.

Sammanfattningsvis går det inte idag att säkert säga att trötthet skulle förekomma oftare i arbetsmiljöer med lågfrekvent buller jämfört med mera högfrekvent buller vid motsvarande ljudnivåer. Ökad trötthet har även rapporterats från arbetsmiljöer med generellt höga ljudnivåer. Hos arbetstagare i en textilfabrik som under en vecka arbetade utan hörselskydd i en bullernivå på 85-95 dB LAeq kunde högre subjektiv trötthet och irritation påvisas efter arbetet, jämfört med en vecka då de bar hörselskydd (Melamed & Bruhis, 1996). Ingen redovisning gjordes av frekvensinnehållet av bullret men troligen var det inte dominerat av låga frekvenser. Befintliga studier ger dock indikationer på att lågfrekvent buller i arbetsmiljön kan verka tröttande eller vakenhetssänkande. Någon säker nivå går inte att ange, men det tycks som om lågfrekvensinnehållet är viktigare än ljudtrycksnivån för framkallande av denna effekt.

7.3.4 Påverkan på arbetsprestation

Studier av effekter på arbetsprestation vid exponering för LFB har hittills endast studerats i mycket liten omfattning. Benton och Leventhall (1986) använde en huvuduppgift och en biuppgift och fann signifikant fler fel i huvuduppgiften under exponering för amplitudmodulerade toner vid 40 Hz och 100 Hz samt för ett smalbandsljud centrerat vid 70 Hz, jämfört med trafik buller vid 70 dB lin och tyst kontrollperiod. Effekten var störst under den sista tio minuters perioden av den totala exponeringstiden på 30 minuter. De lågfrekventa exponeringarna hade en ljudtrycksnivå som var relaterad till hörstyrkan för en 100 Hz ton, 25 dB över varje individs hörtröskel och således jämförbart med vad som kan förekomma i t ex kontrollrum.

I det tidigare nämnda pilotförsöket (7.3.2) (Persson Waye m fl, 1997) utvärderades även effekter på arbetsprestationen med hjälp av med tre olika datoriserade tester. Försöket visade att det lågfrekventa ventilationsbullret subjektivt bedömdes påverka arbetsprestationen och sinnestämning i signifikant högre grad än det mellanfrekventa ventilationsbullret. Resultaten från ett verbalt resonerande test, visade på en tendens till signifikant förlängd reaktionstid över tid under den lågfrekventa bullerexponeringen. Slutsatser som kan dras från detta försök är begränsade med tanke på det låga antal försökspersoner som deltog. En uppföljande studie med total 32 försökspersoner vilka arbetade 2,5 timmar under likartade ljudbetingelser som pilotförsöket ger stöd för den tidigare observationen att reaktionstiden blev längre under den lågfrekventa bullerexponeringen i det verbala testet (Persson Waye m fl, manuskript). Förlängningen av reaktionstid var mest uttalad för den grupp som karakteriserades som känsliga för lågfrekvent buller samt under försökets andra del. För uppgifter av mera rutinartad karaktär kunde inga ljudrelaterade skillnader påvisas.

Som redovisats ovan finns endast ett fåtal studier där effekter av lågfrekvent buller på arbetsprestation undersökts. Befintliga studier tyder på att effekter i experimentella försök börjar uppträda vid förhållandevis svaga ljudnivåer vid en tillräckligt lång exponeringstid. Ytterligare studier fordras för att kartlägga hur lågfrekvent buller påverkar arbetsprestationen samt vid vilka nivåer effekter uppträder.

7.3.5 Icke hörselmedierade upplevelser av lågfrekvent ljud

Förutom den direkta upplevelsen av lågfrekvent buller via hörselsinnet finns rapporter om att lågfrekvent buller upplevs som en tryckkänsla över örat eller kring trumhinnan (Persson Waye, 1995a; Nakamura & Inukai, 1998) samt vid tillräckligt höga ljudtrycksnivåer som vibrationer i framförallt bröstorg och mage. Sådana av lågfrekvent buller alstrade vibrationer har beskrivits av Leventhall och Kyriakides (1974). Den mest markerade resonansen fanns för bröstorgen som hade en resonansfrekvens kring 50 Hz, efter exponering för 107 dB SPL. Resultaten var även i överensstämmelse med studier av döva, vilka först upplevde frekvenserna 12,5 till 200 Hz som vibrationer i bröstorgen (Yamada m fl, 1983). Perceptionströskel för denna grupp var mellan 90 till 100 dB SPL och väl över perceptionströskeln för normalhörande. Ytterligare stöd för dessa observationer finns även i en nyligen publicerad pilotstudie där sex försökspersoner, samtliga män, exponerades för rena toner vid 20, 31,5, 40 och 50 Hz för 100-110 dB SPL (Takashi m fl, 1999). Vibrationer uppmätta med accelerometer fastsatta på mage och bröstorg visade att vibrationer på kroppen var starkast på bröstorg och att signifikant förstärkta vibrationer jämfört med tystnad kunde påvisas vid exponering för 31,5 till 50 Hz från 100 dB SPL.

Under senare år har en forskargrupp framfört att höga ljudtrycksnivåer av låga frekvenser skulle kunna ge upphov till ett så kallat vibroakustiskt syndrom (Vibroacoustic disease VAD) (Castelo Branco & Rodriguez, 1999; Alves Periera, 1999). VAD definieras som bullerinducerad sjukdom orsakad av långtidsexpo-

nering (tio år eller längre) för höga ljudtrycksnivåer (>90 dB SPL) och låga frekvenser (< 500 Hz), och som involverar mångfaldigande av extracellulär vävnad. Bildandet av extracellulär vävnad uppges påverka främst hjärt-kärl och andningsvägar samt strukturer i hjärnan (Marciniak m fl, 1999; Reis Ferreira m fl, 1999; Pimenta m fl, 1999). VAD har huvudsakligen beskrivits hos flygtekniker, vilka exponeras för såväl en del höga som låga frekvenser från flygplansbuller och vibrationer under lång tid (Bento Coelho m fl, 1999). Det går dock inte utifrån föreliggande studier att utesluta inverkan av andra agens såsom flygplansbränsle (Klave m fl, 1978) och rökvanor för de effekter som observerats.

Sammanfattningsvis tycks lågfrekvent ljud kunna upplevas som vibrationer i kroppen speciellt bröstorg, mage, samt ge upphov till ett ökat tryck kring trumhinnan. Det är möjligt att dessa upplevelser bidrar till ett förstärkt obehag av LFB. Beträffande förekomst av vibroakustiskt syndrom (VAD) går det inte utifrån befintliga studier att dra säkra slutsatser om risker vid långvarig exponering för höga nivåer av lågfrekventa ljud. Ytterligare studier bör därför initieras. Med undantag av den subjektiva tryckkänslan kring trumhinnan har dessa effekter uppträtt vid exponering för höga ljudtrycksnivåer.

7.4 Akustiska och individuella faktorer av betydelse för respons

7.4.1 Hörstyrke- och störningsförändring vid frekvens- och nivåförändring

Som nämndes i kapitel 3.1 fordras en mindre ökning av ljudtrycksnivåer för subjektiv fördubbling av hörstyrkan för det lågfrekventa området jämfört med det högfrekventa området. Motsvarande förhållande anges gälla även för experimentellt bedömd störning (Møller, 1987). I en senare studie visade dock Widmann och Gossens (1993) att samma förändring av ljudtrycksnivån medförde större förändring av störning än hörstyrka. En ton vid 20 Hz bedömdes 2,2 gånger starkare men 3,2 gånger mer störande än en ton vid 250 Hz. Liknande resultat, dock med något mindre skillnad mellan störning och ljudstyrka erhöles även i en studie av Broner (1998). Han fann också att skillnaden mellan störning och ljudstyrka var större ju lägre den dominerande frekvensen var. I försök med syfte att undersöka tolerans för olika frekvenser fann Broner och Leventhall (1984) en betydligt lägre tolerans för frekvenser inom den lägre delen av det lågfrekventa frekvensområdet (20 till 50 Hz). Detta var speciellt tydligt för personer som störts av lågfrekventa ljud i sin bostad, men trenden kunde även ses bland personer som inte varit utsatta för lågfrekventa ljud i sin bostad. I en uppföljande studie där högre ljudtrycksnivåer från 90 till 105 dB SPL användes kunde dock detta frekvensberoende inte påvisas (Broner & Leventhall, 1985).

En starkare respons för frekvenser inom den lägre delen av lågfrekvensområdet kunde även ses i experimentella studier utförda av Inukai m fl (1990) vilka fann att frekvenser kring 40-63 Hz gav upphov till starkast respons. I överensstämmelse med detta fann Yamada m fl, (1980), att det fordrades en mindre

ökning av ljudtrycksnivåer över hörröskeln för att effekter skulle uppträda ju lägre frekvensen var.

Sammanfattningsvis sker hörstyrke- samt i än högre grad störningsförändring vid en mindre ökning av ljudtrycksnivåer inom lågfrekvensområdet jämfört med mer högfrekventa ljud. I likhet med vad som gäller för hörstyrka är störningsförändringen frekvensberoende, och en mindre ökning av ljudtrycksnivån inom den lägre delen av lågfrekvensområdet kan därför antas vara mera kritiskt för olika effekter. Detta frekvensberoende är dock inte studerat för arbetsprestation.

7.4.2 Modulationer

Den pulserande karaktären hos lågfrekvent buller kan vara ett resultat av amplitudvariationer i en enskild frekvens, frekvensmodulationer orsakade av två närliggande maxima eller av ett tidsvarierande förlopp hos en mindre del av frekvensspektrat. Amplitudmodulationer i lågfrekvent ljud har antytts ge upphov till förstärkta effekter i studier av prestation (Benton & Leventhall, 1986) samt för sänkt vakenhet (Landström m fl, 1985), även om inga direkta jämförelser gjordes av den akustiska karaktären i dessa studier. Ett experimentellt försök tydde dock på att en amplitudmodulerade sinuston vid 30 Hz (amplitudgrad ± 6 dB, amplitudfrekvens 2,5 Hz) i högre grad gav upphov till subjektiva symtom inklusive störning samt sänkt sinnestämning än en sinuston vid samma frekvens som inte var amplitudmodulerad (Persson Wayne m fl, insänd för publicering). Skillnaden var dock endast signifikant säkerställd för sömnighet.

I en studie av flygplansbuller av typen ”turboprop” (McCurdy m fl, 1986) fann man dock att frekvensmodulationer på 0,05; 0,1; 0,25; 0,5 och 1 Hz inte signifikant förändrade bedömningen av bullret. I denna undersökning studerades dock mycket låga modulationsfrekvenser. I en närmare analys fann man att modulationer under 0,5 Hz inte ledde till någon påverkan, medan en modulationsfrekvens på 1 Hz bedömdes som något mera störande. I studier där modulationer har haft en negativ inverkan på prestation (Benton & Leventhall, 1986), sänkt vakenhet (Landström m fl, 1985) samt för sömnighet (Persson Wayne m fl, insänd för publicering) var modulationsfrekvensen 1 Hz, 6 Hz respektive 2,5 Hz. I överensstämmelse med detta kunde Landström m fl (1996) visa att moduleringsfrekvenser kring 3 Hz var mest störande för lågfrekvent brus. Modulationsfrekvensen kan därför vara av betydelse för störning och andra effekter. Modulationsgraden kan sannolikt också vara av betydelse för effekter. Således fann man i en experimentell studie att störning för dieseltåg minskade när modulationsgraden sänktes från 13 dB till 5 dB (Kantarelis & Walker, 1988).

Data tyder på att modulationsfrekvens samt modulationsgrad är av betydelse för uppkomst av effekter av lågfrekventa ljud. Det återstår dock att visa vilka effekter som påverkas samt i vilken omfattning.

7.4.3 Toner

Flera källor till lågfrekvent buller alstrar ljud innehållande en eller flera rena toner. Landström och medarbetare har studerat betydelsen av lågfrekventa och mera högfrekventa toner i arbetsmiljöer. De har visat att en tonal karaktär har förhållandevis liten betydelse för störning, minskad vakenhet, och prestation (Landström m fl, 1991b; 1995; Holmberg m fl, 1993).

I en annan studie ombads 20 försökspersoner att justera frekvensen av en ton inom frekvensområdet 35 till 500 Hz med bibehållen ljudnivå så att det mest acceptabla respektive minst acceptabla ljudet skulle erhållas (Landström m fl, 1994). Den minst acceptabla tonen var i medeltal 380 Hz, medan en ton vid 58 Hz befanns vara mest acceptabel. Sammanfattningsvis tyder detta på att en tonal karaktär inom lågfrekvensområdet är av ringa betydelse för störning vilket är en väsentlig skillnad jämfört med mera högfrekventa ljud.

7.4 4 Effekter relaterade till individuella variationer i perceptionströskeln

Från fallstudier rapporteras att störning från lågfrekvent buller i den allmänna miljön kan förekomma vid nivåer vid eller strax över normalhörtröskelnivån (t ex Chatterton, 1979; Yamada m fl, 1987). Normalhörtröskeln definieras som den nivå vid vilken en person med normal hörsel mellan 18 till 25 år under standardiserade förhållanden ger 50 procent korrekt respons i upprepade försök (ISO/CD 226-1, 1993). Eftersom normalhörtröskeln är ett statistiskt bestämt värde, kommer det att finnas individuella avvikelser över och under denna tröskel. Från studier av normalt hörande unga personer fann Watanabe och Møller (1990) typiska standardavvikelser på 3 till 5 dB SPL. Det kan därför inte uteslutas att skillnader i individuell hörtröskel kan vara av viss betydelse för störning av mycket låga ljudtrycksnivåer av lågfrekvent buller. Individuella variationer i hörtröskeln är sannolikt av mindre betydelse för arbetsmiljön där nivåerna är högre än i den allmänna miljön. Det finns dock mycket lite forskning inom detta område. Inom infraljudsområdet har ljudtrycksnivåer understigande normalperceptionströskeln inte visats ha någon betydelse för störning eller prestationspåverkan (Møller, 1984) eller sänkt vakenhet (Landström & Byström, 1984).

7.4.5 Subjektiv känslighet

En genomgående erfarenhet från fallstudier och intervjuer med personer känsliga för lågfrekventa ljud är att människor som blir störda för lågfrekvent buller utvecklar en specifik känslighet för lågfrekventa bullerkällor, medan de sällan anser sig vara känsliga för buller i allmänhet. I enlighet med dessa observationer visades i en nyligen genomförd studie bland 32 studenter (Persson Waye m fl, 1999, manuskript) att känslighet för lågfrekvent buller inte var relaterat till känslighet för buller i allmänhet, mätt med frågeformulär. Studien visade också att personer känsliga för lågfrekvent buller presterade sämre på två av totalt fyra test. I Persson Waye m fl (insänd för publicering) rapporterades en signifikant högre

grad av huvudvärk, yrsel, illamående, irritation, en högre tryckkänsla över trumhinnan samt en tendens till högre grad av trötthet efter den lågfrekventa exponeringen, endast för personer klassificerade som känsliga för lågfrekvent buller. Efter den mellanfrekventa exponeringen kunde dock ingen skillnad i symptom påvisas för personer känsliga respektive inte känsliga för lågfrekvent buller, vilket tyder på att dessa personer reagerade specifikt på den lågfrekventa exponeringen.

Sammanfattningsvis fordras det dock ytterligare klarlägganden av vad subjektiv känslighet för lågfrekvent ljud innebär samt om det är en riskfaktor för uppkomst av effekter i arbetsmiljön.

7.5 Sammanfattande konklusion

Med avseende på effekter definieras ett lågfrekvent buller som ett buller med dominerande frekvenser upp till 200 Hz. För att avgöra om ett buller är lågfrekvent kan en första översiktlig kontroll vara att jämföra dBC- och dBA-nivån. Är skillnaden större än 15-20 dB kan bullret anses vara lågfrekvent. Denna översiktliga kontroll bör dock endast användas då dBA-nivån är högre än ca 30 dBA. Uppfattas bullret som lågfrekvent bör en tersbandsanalys göras för att ge noggrannare bedömningsunderlag.

Utifrån det fåtal experimentella studier där effekter av lågfrekvent buller på arbetsprestation undersökts, tycks lågfrekvent buller kunna orsaka försämrad arbetsprestation från nivåer kring 40 dBA. Ett antal studier tyder på att lågfrekvent buller i arbetsmiljön kan verka tröttande eller vakenhetssänkande. Någon säker nivå går inte att ange, men det tycks som om lågfrekvensinnehållet är viktigare än ljudtrycksnivån för framkallande av denna effekt. För övriga symptom, såsom huvudvärk, irritation samt en känsla av tryck över trumhinnan och huvudet kan underlag för slutsatser framförallt hämtas från fallstudier, men samstämmigheten i dessa kan tala för att symptombilden är relaterad till lågfrekvent buller. Ytterligare studier fordras för att klarlägga hur lågfrekvent buller påverkar arbetsprestationen samt vid vilka nivåer effekter uppträder.

I arbeten med hög grad av koncentration och uppmärksamhet tyder data på att lågfrekvent buller vid nivåer kring 40 dBA kan ge upphov till en förhållandevis utbredd störning. I sådana miljöer kan lågfrekvent exponering vid 40 dBA i genomsnitt upplevas som "ganska störande". Experimentella studier, där störningsskattningar av lågfrekvent buller och annat buller har jämförts, tyder på att A-vägningen underskattar ett lågfrekvent buller i storleksordningen med 6 dBA vid nivåer kring 40-50 dBA och ännu mer vid högre ljudnivåer. Mot bakgrund av de låga samband mellan störning och dBA som erhållits i fält- samt experimentella studier är det svårt att motivera att endast skärpa dBA-nivån för lågfrekventa ljud. Försöken att ersätta A-vägningen med andra befintliga bullermått har inte entydigt visat på ett bullermått som skulle vara bättre än andra och det finns således ett behov av att utveckla ett mer precist bedömningsgrund för lågfrekvent buller i arbetsmiljön. Det saknas idag tillräckligt underlag för att

säkert dra slutsatsen att bedömningskurvan (SOSFS 1996 M) för allmän miljö skulle vara tillämplig även för arbetsmiljön. Med undantag av direkt påverkan på arbetsprestation är dock flertalet av de effektparametrar som bildat underlag för rekommendationerna i den allmänna miljön relevanta även för arbetsmiljöer med ljudnivåer kring 40-50 dBA. Det kan därför vara rimligt att anta att dos-respons-sambandet mellan tersbandsnivåer i det lågfrekventa området och störning för nivåer kring 25-30 dBA (allmän miljö) skulle vara giltigt även för arbetsmiljöer med lågfrekvent buller med ljudnivåer kring 40-50 dBA. Ett förslag till nya rekommendationer i arbetsmiljöer i denna typ av arbetsmiljöer skulle därför kunna utgöras av rekommendationerna för allmän miljö, men de rekommenderade nivåerna bör även i fortsättningen ligga högre i arbetsmiljöer. Den rekommenderade nivån i denna typ av arbetsmiljöer är för närvarande 40 dBA, vilket är 10 dB högre än rekommendationerna för allmän miljö. Eftersom 6 dB ökning av hörstyrkan vid ca 63 Hz ger samma förändring som 10 dB vid 1000 Hz, följer att ca 6 dB borde adderas till rekommendationerna för allmän miljö. Eftersom en och samma ökning av ljudtrycksnivån ger en större ökning av störning än hörstyrka bör man dock anta en viss försiktighet och för arbetsmiljön göra ett tillägg av 5 dB till varje tersband. Dessa rekommendationer bör täcka området från 25 Hz till 200 Hz. I tabell 1 redovisas detta förslag till riktvärden för lågfrekvent buller i arbetsmiljön, nivåerna för tersbanden 25 till 200 Hz bör inte överskridas.

För arbetsplatser med högre ljudnivåer saknas underlag. Det är osäkert hur dos-respons-sambandet ser ut, och vilka effekter som framträder vid högre nivåer.

Tabell 1. Förslag till riktvärden för lågfrekvent buller i arbetsmiljön.

| Mittfrekvens (Hz) | Ekvivalenta ljudtrycksnivåer (dB) |
|----------------------|--------------------------------------|
| 25 | 71 |
| 31.5 | 61 |
| 40 | 54 |
| 50 | 49 |
| 63 | 47 |
| 80 | 45 |
| 100 | 43 |
| 125 | 41 |
| 160 | 39 |
| 200 | 37 |

7.4 Referenser

- Alves Pereira M (1999) Noise induced extra aural pathology: A review and commentry. *Aviat Space Environ Med*, 70, suppl A7-A20.
- Bento Coelho J L, Ferreira A, Serrano J & Castelo Branco N A A (1999) Noise assessment during aircraft run-up procedures. *Aviat Space Environ Med*, 70, suppl A22-A26.
- Benton S & Leventhall H (1986) Experiments into the impact of low level, low frequency noise upon human behaviour. *J Low Freq Noise Vibr*, 5, 143-162.
- Beranek L L (1957) Revised Criteria for Noise Control in Buildings. *Noise control*, 3, 19-27.

- Berglund B, Hassmén P & Job S (1996) Sources and effects of low frequency noise. *J Acoust Soc Am*, 99, 2985-3002.
- Broner N & Leventhall H G (1984) The annoyance and unacceptability of lower level low frequency noise. *J Low Freq Noise Vibr*, 3, 154-166.
- Broner N & Leventhall H G (1985) Annoyance loudness and unacceptability of higher level low frequency noise. *J Low Freq Noise Vibr*, 4, 1-11.
- Broner N (1994) *Low frequency noise assessment metrics- what do we know?* Report of Ashrae research project 714.
- Broner N (1998) Low frequency noise loudness vs annoyance. In: Carter N & Job R F eds *7th International congress on noise as a public health problem Sydney Australia 22-26 nov 1998* Pp 531-534.
- Byström M, Landström U & Kjellberg A (1991) *Effekter av toner och bredbandigt buller på störningsupplevelse vid olika arbetsuppgifter*. Arbete och Hälsa, 1991:27, Solna: Arbetsmiljöinstitutet.
- Castelo Branco N A A & Rodriguez E (1999) The vibroacoustic disease – an emerging pathology *Aviat Space Environ Med*, 70, suppl A1-6.
- Castelo Branco N A A, Rodriguez E, Alves-Pereira M & Jones D R (1999) Vibroacoustic disease: some forensic aspects. *Aviat Space Environ Med*, 70, suppl A145-151.
- Challis L A & Challis A M (1978) Low frequency noise problems from gas turbine power stations. In: Lang W W ed. *Proceedings of the International Conference on Noise Control Engineering*. Pp 475-480, San Francisco, USA.
- Chatterton P F (1979) A case history of a low frequency noise problem. *Noise Control Vibration Isolation* August-September, pp 295-298.
- Cocchi A, Fausti P & Piva S (1992) Experimental characterization of the low frequency noise annoyance arising from industrial plants. *J Low Freq Noise Vibr*, 11, 124-132.
- DIN 45 680, Tysk standard (1997) Mätning och utvärdering av lågfrekvent buller i omgivningsmiljön (på tyska).
- Fuchs G (1990) Low frequency and infra noise analysis and control in Argentina. In: Jonasson H G ed. *Proceedings of the International Conference on Noise Control Engineering*. Pp 1315-1318, Gothenburg, Sweden.
- Holmberg K, Landström U & Kjellberg A (1993) Effects of ventilation noise due to frequency characteristics and sound level. *J Low Freq Noise Vibr*, 12, 115-122.
- Holmberg K, Landström U, Söderberg L, Kjellberg A & Tesarz M (1996) Hygienic assessment of low frequency noise annoyance in working environments. *J Low Freq Noise Vibr*, 15, 7-15.
- International Standard Organization (1975) *Acoustics. Method for calculating loudness level*. ISO 532. Switzerland, 1975.
- International Standard Organization. (1993) *Acoustics. Equal loudness level contours for otologically normal listeners. Part 1: Reference thresholds of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions, Second ISO/CD 226-1*, Switzerland.
- Inukai Y, Taya H, Nagamura N & Kuriyama H (1987) An evaluation method of combined effects of infrasound and audible noise. *J Low Freq Noise Vibr*, 6, 119-125.
- Inukai Y, Taya H, Utsugi A & Nagamura N (1990) A new evaluation method for low frequency noise. In: Jonasson H G (ed) *Proceedings of the International Conference on Noise Control Engineering, Gothenburg, Sweden*, pp 1441-1444.
- Kantarelis & Walker (1988) The identification and subjective effect of amplitude modulation in diesel engine exhaust noise. *J Sound Vib*, 120, 297-302.
- Kjellberg A, Goldstein M & Gamberale F (1984) An assessment of dB(A) for predicting loudness and annoyance of noise containing low frequency components. *J Low Freq Noise Vibr* 3, 10-16.

- Kjellberg A & Goldstein M (1985) Loudness assessment of band noise of varying bandwidth and spectral shape. An evaluation of various frequency weighting networks. *J Low Freq Noise Vibr*, 4, 12-26.
- Kjellberg A & Wide P (1988) Effects of simulated ventilation noise on performance of a grammatical reasoning task. In: Berglund B, Berglund U, Karlsson J & Lindwall T eds. *Proceeding of the 5th International Congress on Noise as a Public Health Problem*. Pp 31-36, Stockholm, Sweden.
- Kjellberg A, Andersson P, Sköldström B & Lindberg L (1992) *Trötthet hos flygtekniker efter låg och hög bullerexponering*. Arbete och Hälsa, Solna: Arbetsmiljöinstitutet, 1992: 15.
- Kjellberg A, Muhr P & Sköldström B (1998) Fatigue after work in noise – an epidemiological survey study and three quasi-experimental field studies. *Noise and Health*, 1, 47-55.
- Kjellberg A, Tesarz M, Holmberg K & Landström U (1997) Evaluation of frequency weighted sound level measurements for prediction of low frequency noise annoyance. *Environmental International*, 23, 519-527.
- Knave B, Anselm Olson B, Elofson S, Gamberale F, Isaksson A, Mindus P, Persson H E, Struwe G, Wennberg A & Westerholm P (1978) Long term exposure to jet fuel. II. A cross sectional epidemiological investigation on occupationally exposed industrial workers with special reference to nervous system. *Scand J Work Environ Health*, 4, 19-45.
- Landström U, Lundström R & Byström M (1983) Exposure to infrasonic – perception and changes in wakefulness. *J Low Freq Noise Vibr*, 2, 1-11.
- Landström U & Byström M (1984) Infrasonic threshold levels of physiological effects. *J Low Freq Noise Vibr*, 3, 167-173.
- Landström U, Byström M & Nordström B (1985) Changes in Wakefulness during exposure to noise at 42 Hz, 1000 Hz and individual EEG frequencies. *J Low Freq Noise Vibr*, 4, 27-33.
- Landström U, Kjellberg A & Söderberg L (1991a) Spectral character, exposure levels and adverse effects on ventilation noise in offices. *J Low Freq Noise Vibr*, 1, 83-91.
- Landström U, Kjellberg A, Söderberg L & Nordström B (1991b) The effects of broadband, tonal and masked ventilation noise on performance, wakefulness and annoyance. *J Low Freq Noise Vibr*, 10, 112-122.
- Landström U, Kjellberg A, Tesarz M & Åkerlund E (1992) *Samband mellan exponeringsnivå och störningsgrad i arbetslivet*. Arbete och Hälsa 1992:42, Solna: Arbetsmiljöinstitutet.
- Landström U, Söderberg L, Nordström B & Kjellberg A (1994) Measures against ventilation noise- which tone frequencies are least and most annoying. *J Low Freq Noise Vibr*, 13, 81-87.
- Landström U, Åkerlund E, Kjellberg A & Tesarz M (1995) Exposure levels, tonal component and noise annoyance in working environments. *Environment International*, 21, 265-275.
- Landström U, Byström M, Kjellberg A & Nordström B (1996) *Störningsupplevelse vid exponering för amplitudmodulerat buller*. Arbetslivsrapport 1996:16, Solna: Arbetslivsinstitutet.
- Leventhall H G (1980) Annoyance caused by low frequency/low level noise. In Möller H, Rubak P eds, *Proceedings of the Conference on Low Frequency Noise and Hearing*, Aalborg, Denmark, Pp 113-120.
- Leventhall H G & Kyriakides K (1974) *Acoustically induced vibrations of the body*. Paper presented at the annual conference of the U.K. Group on Human Response to Vibration, Yeovil, September.
- Lundin A & Åhman M (1998) Case report: Is low frequency noise from refrigerators in a multi-family house a cause of diffuse disorders? *J Low Freq Vibr*, 17, 65-70.
- Marciniak W, Rodriguez E, Olszowska K, Atkov O, Botvin I, Araujo A, Pais F, Soares Ribeiro C, Bordalo A, Prazeres de Sá E, Ferreira D, Loureiro M S N, Castelo Branco M S N & Castelo Branco N A A (1999) Echocardiographic evaluation in 485 aeronautical workers exposed to different noise environments. *Aviat Space Environ Med*, 70, suppl A46-A53.

- McCurdy D A, Leatherwood J D & Shepherd K P (1986) Advanced turboprop aircraft noise annoyance: A review of recent NASA research. In: *Proceedings of 10th Aeroacoustics Conference*, Pp 1-13, Seattle, Washington.
- Melamed S & Bruhis S (1996) The effects of chronic industrial noise exposure on urinary cortisol, fatigue and irritability: a controlled field experiment. *J Occup Environ Med*, 38, 252-256.
- Miljøstyrelsens orientering (1997) *Lavfrekvent støj, infraljud og vibrationer i eksternt miljø*. 1997, 9.
- Mirowska M (1998) An investigation and assessment of annoyance of low frequency noise in dwellings. *J Low Freq Noise Vibr*, 17, 119-126.
- Møller H (1984) Physiological and psychological effects of infrasound on humans. *J Low Freq Noise Vibr*, 3, 1-17.
- Møller H (1987) Annoyance of audible infrasound. *J Low Freq Noise Vibr*, 6, 1-17.
- Nagai N, Matsumoto M, Yamasumi Y, Shiraishi T, Nishimura K, Matsumoto K, Miyashita K & Takeda S (1989) Process and emergence on the effects of infrasonic and low frequency noise on inhabitants. *J Low Freq Noise Vibr*, 8, 87-99.
- Nakamura N & Inukai Y (1998) Proposal of models which indicate unpleasantness of low frequency noise using exploratory factor analysis and structural covariance analysis. *J Low Freq Noise Vibr*, 17, 127-131.
- Persson K, Björkman M & Rylander R (1985) An experimental evaluation of annoyance due to low frequency noise. *J Low Freq Noise Vibr*, 4, 145-153.
- Persson K & Björkman M (1988) Annoyance due to low frequency noise and the use of the dB(A) scale. *J Sound Vib*, 127, 491-497.
- Persson K, Björkman M & Rylander R (1990) Loudness, annoyance and dBA in evaluating low frequency sounds. *J Low Freq Noise Vibr*, 9, 32-45.
- Persson Wayne K (1995a) *On the effects of environmental low frequency noise*. Doktorsavhandling, Göteborg universitet.
- Persson Wayne K (1995b) Environmental low frequency noise. In: Andersson K & Lindvall T eds. *Assessing and Controlling Community Noise with Low Frequency Components*. December. Report to Copenhagen workshop.
- Persson Wayne K, Benton S, Leventhall G & Rylander R (1997) Effects on performance and work quality due to low frequency ventilation noise. *J Sound Vib*, 205, 467-474.
- Persson Wayne K, Björkman M, Rylander R, & Hellström P-A Acute effects of low frequency noise in relation to susceptibility to low frequency noise. *Submitted to J Sound Vib*.
- Persson Wayne K & Rylander R The extent of annoyance and long term effects among persons exposed to low frequency noise in the home environment. *Submitted to J Sound Vib*.
- Persson Wayne K, Bengtsson J, Kjellberg A & Benton S Low frequency noise pollution interferes with performance (manuskript).
- Pimenta M G, Martinho Pimenta A J F, Castelo Branco M S N, Silva Simões & Castelo Branco N A A (1999) ERP P300 and brain magnetic resonance imaging in patients with vibroacoustic disease. *Aviat Space Environ Med*, 70, suppl A107-114.
- Piörr D & Wietlake K H (1990) Assessment of low frequency noise in the vicinity of industrial noise sources. *J Low Freq Noise Vibr*, 9, 116-119.
- Reis Ferriera J M, Couto A R, Jalles-Tavares N, Castelo Branco M S N & Castelo Branco N A A (1999) Airway flow limitations in patients with the vibroacoustic disease. *Aviat Space Environ Med*, 70, suppl A63-69.
- Scott R (1978) Annoyance caused by low frequency sound. *Noise and Vibration Bulletin*, September, pp 266-268.
- Shield B, Roberts J & Vuillermoz M (1989) Noise and the Docklands light railway – Technical note. *Applied Acoustics*, 26, 305-315.

- Shield B M, Matthews L, Roberts J P & Zhukov A N (1991) Low frequency noise from the Docklands light railway. *J Low Freq Noise Vibr*, 10, 54-58.
- SOFS 1996:7 (M) *Socialstyrelsens allmänna råd. Buller inomhus och höga ljudnivåer*, ISSN 0346-600.
- Stevens S S (1972) Perceived level of noise by Mark VII and decibels (E). *J Acoust Soc Am*, 51,575-600.
- Takashi Y, Yonekawa Y, Kanada K & Maeda S (1999) A pilot study on the human body vibration induced by low frequency noise. *Industrial Health*, 37, 28-35.
- Tempest W (1973) Loudness and annoyance due to low frequency sound. *Acoustica*, 29, 205-209.
- Tesarz M, Kjellberg A, Landström U & Holmberg K (1997) Subjective response pattern related to low frequency noise. *J Low Freq Noise Vibr*, 16, 145-149.
- Vasudevan R N & Gordon C G (1977) Experimental study of annoyance due to low frequency environmental noise. *Applied Acoustics*,10, 57-69.
- Vercammen M L S (1989) Setting limits for low frequency noise. *J Low Freq Noise Vibr*, 8, 105-109.
- Vercammen M L S (1992) Low frequency noise limits. *J Low Freq Noise Vibr*, 11, 7-13.
- Widmann U & Gossens S (1993) Zur Lästigkeit tieffrequenter Schalle: Einflüsse von Lautheit und Zeitstruktur. *Acustica* , 77, 290-292.
- Yamada S, Ikuji M, Fujikatu S, Watanabe T & Kosaka T (1983) Body sensation of low frequency noise of ordinary persons and profoundly deaf persons. *J Low Freq Noise Vibr*, 2, 32-36.
- Yamada S, Watanabe T, Kosaka T & Oshima N (1987) Construction and analysis of data-base of low frequency noise problems. *J Low Freq Noise Vibr*,6,114-118.
- Yamada S, Kosaka T, Bunya K & Anemiya T (1980) Hearing of low frequency sound and influence on human body. In Møller H, Rubak P eds *Proceedings of the Conference on Low frequency noise and hearing*, Aalborg, Denmark Pp 95-102.
- Watanabe T & Möller H (1990) Hearing thresholds and equal loudness contours in free field at frequencies below 1 kHz. *J Low Freq Noise Vibr*, 9, 135-148.

8. Infraljud

Ulf Landström, Arbetslivsinstitutet, Umeå

8.1 Egenskaper och förekomst

Infraljudet utgörs av akustiska vågrörelser med frekvenser under 22 Hz. Våglängden inom infraljudområdet varierar från 340 m (1 Hz) till ca 17 m (20 Hz).

I likhet med andra typer av ljud alstras infraljud av mekaniska rörelser i fasta, flytande eller gasformiga medier. I naturen kan infraljudet alstras av bl a åskväder, vindar, vulkanutbrott, jordbävning och vattenfall. Den exponering som människan idag utsätts för föränleds främst av en omfattande industrialisering och teknisk utveckling. Antalet infraljudkällor har på senare år ökat markant, trots att infraljudet i sig självt endast kommit att utnyttjas i ringa utsträckning (Leventhall, 1980). Infraljudet utgör i de flesta fall ett icke önskvärt ljud och karaktäriseras därför vanligen som buller.

Genom turbulent strömning, svängningar i gas, vätska eller fasta kroppar kan infraljudet spridas från en rad olika anläggningar. Utbredningsdämpningen i luft är låg. De stora våglängderna innebär dessutom att avskärmningar endast i ringa utsträckning kan hindra infraljudets utbredning.

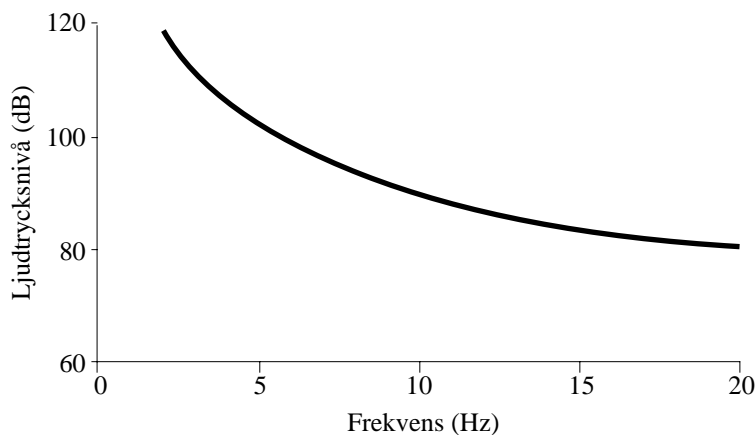
Som exempel på vanliga infraljudkällor kan nämnas ventilationssystem, jetmotorer, utsläpp av gas eller ånga under högt tryck, elektroder, oljebrännare, fordon, dieselmotorer, kompressorer, maskiner med svängande delar och svängande vattenmassor i kraftstationer. Ljudtrycksnivåerna i närmiljön runt anläggningar av dessa slag påverkas starkt av uppkomna resonanser. Utformningen av maskinrum, förarhytter, manöverrum, arbetslokaler, ventilationskanaler m m spelar en stor roll i detta sammanhang.

8.2 Hygienisk bedömning för infraljud

Gällande svenska bestämmelser vid infraljudexponering framgår av Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling för buller. Vid exponering för infraljud-frekvensområdet gäller ett antal rekommenderade högsta tersvärden. Föreslagna exponeringsvärden för infraljud baseras på en bedömning med avseende på perceptionströskelkurvan för infraljud (Figur 8:1). Infraljud under perceptions-tröskeln anses inte orsaka några besvär. Ljudtrycksnivåerna anges för varje mittfrekvens i 1/3-oktavband från 20 Hz (90 dB) till 2 Hz (130 dB). Vägningen är således 4 dB/ters. Beroende på gränsområdet för den lägsta och högsta tersen kommer infraljudområdet att ur utvärderingssynpunkt att omfatta området 1.8-22 Hz.

8.3 Människans upplevelser av infraljud

För perception inom infraljudområdet krävs höga ljudtrycksnivåer, ju lägre frekvens desto högre nivå för perception (Johnson, 1980; Landström m fl, 1983a). Den tonala hörupplevelsen upphör vid ca 15 Hz. Hörselorganets längd och struktur i innerörat utgör det främsta skälet till människans begränsade hörförmåga. Människan saknar dock ej förmåga till hörperception för även lägre infraljudfrekvenser (von Bakesy, 1936; Yeowart m fl, 1968; Yeowart, 1971). Perceptionströskeln för infraljud framgår av Figur 8:1. Perceptionströskelkurvan för infraljudområdet kan kopplas till tidigare beskrivna hörkurva för högre frekvenser. Individuella variationer föreligger vad gäller upplevelser av infraljud. I likhet med andra typer av ljud tycks vissa individer vara påtagligt mer perceptionskänsliga än andra (Okai m fl, 1980).



Figur 8:1. Hörperceptionströskelkurva för infraljud.

Den tonala karaktären i ljudupplevelserna saknas som tidigare nämnts för frekvenser under 15 Hz. Ljudet upplevs istället som en form av repeterande stötar eller tryckvågor. Perceptionen för infraljud skulle därmed snarare baseras på repeterande distorsionseffekter i mellan- och innerörat, än hörupplevelser av rena infraljudtoner. Eftersom hörupplevelserna för infraljud sannolikt baseras på distorsion och övertoner i mellanörat kan i vissa fall maskering via högre frekvenser förekomma. Undersökningar har visat att 7 Hz, 120 dB kan maskeras med 10 dB 10- 100 Hz bakgrundsljud (Johnson m fl, 1974; Yamada m fl, 1980; Landström m fl, 1983b).

Perceptionen för infraljud baseras under vissa betingelser även på framkallade vibrationer. För alstring av kroppsresonanser och perception i buk eller bröst-regionen krävs emellertid högre ljudtrycksnivåer än nödvändiga för hörperception (Slarve & Johnson, 1975; Harris & Johnson, 1978). För framkallande av vibrationer i bukområdet krävs nivåer omkring 120-140 dB inom frekvensområdet 2-20 Hz (Landström m fl, 1983a).

Förutsättningarna för kroppsvibrationer under infraljudexponering varierar mellan olika vävnader vilket återspeglar sig i olika tröskelnivåer men även olika typ av påverkan. En förutsättning för framkallande av kroppsvibrationer genom infraljud är att vävnaden innesluter gas, vanligen luft. Som exempel på vävnader som mekaniskt lättast påverkas av infraljudets tryckvariationer kan nämnas lungor, bihålor, gasfyllda tarmar eller magsäck samt mellanöra. Vid registrering av infraljud via vibrationer utnyttjas olika typer av perceptiva system, exempelvis djupliggande känselreceptorer (Pacinska kroppar), ledreceptorer, muskelspolar, Golgi senorgan eller olika typer av känselreceptorer i huden.

8.4 Effekter av infraljud på vår hörsel

Infraljudets effekter på människan har varit föremål för diskussioner sedan lång tid tillbaka. På grund av de ofta svårdefinierade hörupplevelser som framkallas av infraljud har intresset inte minst riktats mot eventuella hörselskador. Redan under 1930-talet genomfördes av Bekesy ingående hörseltester (von Bekesy, 1936).

Utförda TTS-tester (Temporary Threshold Shifts) ger emellertid en svårtolkad bild. Resultaten av gjorda hörseltester kan sammanfattas på så vis att infraljudet endast i ringa utsträckning varaktigt tycks påverka registreringen av ”hörbara” frekvenser. I de fall som hörselnedsättning kunnat påvisas, har denna oftast varit av kortvarig natur under en timme (Anon, 1973). Vid extrem infraljudexponering över 140 dB, tycks hörupplevelsen för samtliga frekvenser över 125 Hz påverkad. Den mest påtagliga hörselnedsättningen sker inom området strax över 1 kHz (Johnson, 1975; French m fl, 1966). Studier har visat att 140 dB (4-20 Hz) kan framkalla ett tröskelskift på 10 dB vid frekvenser omkring 1000 Hz (Nixon & Johnson, 1973).

De obehags- och smärtupplevelser som lokaliseras till örat och som framkallas av infraljud beror främst på en mekanisk överbelastning av mellanörats strukturer (Nixon, 1973; Nixon & Johnson, 1973; Johnson, 1976). Gränsen för vävnadsskador i ett tidigare icke skadat mellanöra anses för 20 Hz ligga vid omkring 140 dB och för 2 Hz vid omkring 160 dB. Exponering av människa bör dock ej överstiga 150 dB, detta för att undvika direkta vävnadsskador på trumhinnan eller mellanörats strukturer (Johnson, 1980).

I samband med infraljudexponering framhålls ofta obehagliga tryckupplevelser i örat. Obehagen tycks uppträda vid nivåer omkring 125-130 dB (Mohr m fl, 1965; Edge m fl, 1966; Johnson & von Gierke, 1974; von Gierke m fl, 1953; Slarve & Johnson, 1975). Besvären kvarstår även en tid efter det att exponeringen upphört. Effekten kan fysiologiska förklaras som ett ökat vaskulärt tryck i mellanörat på grund av överproduktion av endolymfa. Trycket reducerar för en tid även hörupplevelserna. Överskottet av endolymfa försvinner dock så småningom vilket även leder till en normalisering av hörseln.

8.5 Störningsupplevelser av infraljud

De första vetenskapliga bedömningarna av infraljud gjordes redan under första världskriget då man misstänkte att vissa negativa effekter kunde uppstå vid infraljudexponering. Bland de första effekter på människan som påtalades var allmänna störningssymtom, typ diffust obehag, psykisk obalans, sänkt koncentration förmåga, ökad felprocent, reducerad prestationsförmåga, m m. Osäkerheten i tolkningen av resultaten från dessa undersökningar kring upplevelse och störning har ofta framhållits. Vissa samband mellan exponering för infraljud och störningar anses dock ha kunnat fastställas (Borredon & Nathie, 1973; Kyriakides & Leventhall, 1977). Förutsättning för uppkomst av störningseffekter, diffust obehag, psykisk obalans, sänkt koncentration förmåga m m, är att exponeringsnivån ligger över nivån för perception via hörseln (Johnson, 1980; Borredon, 1980; Leventhall, 1980).

Perceptionströskeln i Figur 1 utgör således även ett ungefärligt mått på lägsta nivåerna för uppkomst av upplevd störning. Föreslagen riskkurva för störningsupplevelser följer huvudsakligen denna perceptionsnivåkurva (Yamada, 1980; Møller, 1980; Okai, 1980; Andresen & Møller, 1983; Collins m fl, 1972; Møller & Andresen, 1983).

Undersökningar har visat att upplevelseförändringarna pga infraljud framkallas inom betydligt snävre ljudtrycksnivågränser än för annat ljud. Inom infraljudområdet tycks omkring 5 dB tilläckligt för en dubbling/halvering av ljudstyrkeupplevelsen.

Även vissa andra skillnader mellan infraljud och högre ljudfrekvenser kan framhållas, bl a att anpassningen eller tillvänjningen till infraljudet tycks svårare än anpassning till högre ljudfrekvenser. Adaptation och habituering tycks således genomgående lägre för infraljud och lågfrekvent buller jämfört med högre ljudfrekvenser.

Alstringskällan bakom infraljudet är dessutom många gånger svårare att fastställa än alstringskällan bakom högfrekventa ljud. Oförmågan att identifiera ljudkällan upplevs ofta störande (Leventhall, 1980).

8.6 Fysiologiska effekter av infraljud

Nuvarande kunskaper rörande fysiologiska effekter framkallade av infraljud baseras huvudsakligen på exponeringar utförda under laboratoriebetingelser. Erfarenheter kring effekter uppkomna under arbetsmiljömässiga förhållanden är relativt få, framför allt saknas nästan helt säkra kunskaper om det sätt på vilket människan påverkas av en långvarig infraljudexponering.

Bland de fysiologiska effekter av infraljud som främst diskuterats under de senaste åren kan nämnas förändringar i vakenhet. Studier har visat på en ökad risk för sömnhet under exponering för infraljud.

Vakenhetsförändringarna kan beskrivas som en koppling mellan perception, hjärnans retikulära aktiveringscentra och cortikala funktioner (Grandjean, 1969).

Enligt nuvarande teorier styrs människans cortikala aktivitet av hjärnstammens så kallade retikulära aktiveringscentra (RAS). Förmågan hos olika omgivningsfaktorer att på olika sätt påverka hjärnans aktiveringscentra och därigenom vår vakenhet utgör påtagligt inslag i vårt dagliga liv (Borredon, 1980). Vissa samband kan erfarenhetsmässigt anses vederlagda. Monoton, enformig, dämpad, repeterande stimulering upplevs ofta sövande. Kraftiga, oregelbunden stimulering upplevs ofta väckande. Laboratorieförsök och fältmässiga studier har visat på positiv korrelation mellan exponering för infraljud med ljudtrycksnivåer i närheten av perceptionströskeln och sänkt vakenhet (Gavreau, 1968; Gleen & Dunn, 1968; Fecci m fl, 1971; Landström m fl, 1982a; b). Sömnighetseffekten tycks särskilt märkbar vid nivåer strax över perceptionströskeln för hörupplevelse. Vid höga ljudtrycksnivåer aktualiseras som väntat väck-effekter. Vakenhetseffekten följs av samtidiga förändringar i blodtryck och puls. Under exponering för infraljud, med sänkt vakenhet som följd, har noterats reducerad puls samt minskat systoliskt och diastoliskt blodtryck (Landström m fl, 1982a; b). Samtliga dessa reaktionsmönster utgör normala fysiologiska förändringar framkallade under insomning (Lacey, 1950; Liberson & Liberson, 1966). Förändringarna styrs delvis från specifika centra i hjärnstammen. Resultaten utgör med andra ord ett stöd för teorin om ett samband mellan perception, centralnervösa funktioner och fysiologiska effekter.

Förekomsten av individuella trösklar för perception och därmed framkallande av effekt måste dock framhållas. I praktiken sker bullerexponeringen vanligen i form av komplexa ljud, dvs exponering för breda frekvensband med inslag av växlande nivåer. Effekten av maskering från samtidigt förekommande ljud av högre frekvenser måste även beaktas. Den trötthetsframkallande effekten av infraljud i exempelvis fordonshytter eller manöverrum anses enligt senare undersökningar därför kunna hävas av buller från högre ljudfrekvenser (Sandberg, 1983).

Effekterna av infraljud på andning och magsäcksslemhinnans saltsyraproduktion är ringa och uppträder endast hos vissa personer (Landström m fl, 1981a; Johnson, 1973). Undersökningarna överensstämmer i detta avseende med beteendevetenskapliga studier enligt vilka somliga individer uppvisar påtagligt större reaktivitet för infraljud än andra (Okai m fl, 1980; Johnson, 1980; Laventhall, 1980; Yamada m fl, 1980; Landström m fl, 1981b).

8.7 Sammanfattning

Effekter vid infraljudexponering i form av påverkan på hörselorganet i form av temporär eller bestående hörselskada eller obehagsupplevelser lokaliserade till hörselorganet uppträder endast vid förhållandevis höga ljudtrycksnivåer över 125-130 dB.

För störningsupplevelseeffekter eller påverkan på fysiologiska reaktionsmönster av infraljud främst en ökad risk för sömnighet, gäller att dessa endast uppträder över den sk perceptionströskelkurvan för infraljud.

8.8 Referenser

- Andresen J & Møller H (1983) *Annoyance of infrasound*. Proceedings from Intern-Noise 83, vol II.
- Anon G (1973) *Public health and welfare criteria for noise*. UIS E.P.A. Report 550/9 – 73-002.
- Bekesy G von (1960) Rapport i *Experiments in Hearing*, ed. E.G. Wever McGraw-Hill, New York.
- Borredon P & Nathie J (1973) *The psychological effects observed on man exposed to an infrasonic level of 130 dB*. Report av the International Colloquium of Infrasound held in Paris.
- Borredon P (1980) Physiological effects of infrasound in our everyday environment. In *Conference on Low Frequency Noise and Hearing*, Aalborg, May.
- Broner N (1978) The effects of low frequency noise on people – a review. *Journal of Sound and Vibration* 58.
- Collins S J, Robinson & D W, Whittle L O (1972) The audibility of low frequency sounds. *Journal of Sound and Vibration* 21, no 4.
- Edge P M & Mayes W H (1966) *Description of langley low frequency noise facility and study of human response to noise frequencies below 50 cps*. NASA TN D-3204.
- Fecci R, Bartelemy R, Bourgoin J, Mathia A, Eberle H, Moutel A & Jullien G (1971) Effects of infrasound on the organism. *La Medicina del Lavoro*, 62.
- French B O, McBrayer R O, Feddersen W E, Pesman G J & Billingham (1966) *Effects on low frequency pressure fluctuations on human subjects*. NASA TN-3323.
- Gierke H E von, Davis H, Eldredge D H & Hardy J D (1953) *Aural pain produced by sound*. Benox Report, Contract N6cri-020, Task Order 44, ONR Project No 144079, University of Chicago, December.
- Grandjean E (1969) *Précis d'ergonomi*. Organisation physiologique du travail. Dunod ed. Paris.
- Harris C S, Sommer H C & Johnson D L (1976) Review of the effects of infrasound on man. *Aviat. Space Environ. Med.* 47.
- Harris C S & Johnson D L (1978) Effects of infrasound on cognitive performance. *Aviat. Space Environ. Med* 49(4).
- Johnson D (1980) The effects of high level infrasound. In *Conference on Low Frequency Noise and Hearing*, Aalborg, May.
- Johnson D L (1973) *Effects of infrasound on respiration*. Paper presented at Aerospace Medical Association Meeting, May.
- Johnson D L & Gierke H E von (1974) *The audibility of infrasound*. Paper presenterat vid Acoustical Society of America Fall Meeting, November.
- Johnson D L (1975) Auditory and physiological effects of infrasound. *Inter-Noise, Sendei*, 475-482.
- Johnson D L (1976) *Exposure of four chinchillas to infrasound*. Research Memo dated March, AMRL, WPAFB OH.
- Kyriakides K & Leventhall H G (1977) Some effects of infrasound on task performance. *Journal of Sound and Vibration* 50(3).
- Lacey J I (1950) Individual differences in somatic response patterns. *J. Comp. Physiol.* 43.
- Landström U & Byström M (1983b) *Tröskelnivåer för infraljud avseende effekter på människan*. Undersökningsrapport 1983:46, Solna: Arbetarskyddsstyrelsen.
- Landström U, Danielsson Å, Lindmark A, Lindqvist M, Liszka L & Söderberg L (1981a) *Fysiologiska effekter framkallade under exponering för infraljud*. Undersökningsrapport 1981:4, Solna: Arbetarskyddsstyrelsen.
- Landström U, Danielsson Å, Lindmark A, Lindqvist M, Liszka L & Söderberg L (1981b) *Laboratorieförsök rörande fysiologiska effekter av infraljud. I. Försökspersoner med*

- yrkesrelaterad infraljudexponering. II. Kvinnliga försökspersoner. Undersökningsrapport 1981:34, Solna: Arbetarskyddsstyrelsen.
- Landström U, Danielsson Å, Lindmark A, Lindqvist M, Liska L & Söderberg L (1982a) *Effekter på människa framkallade under exponering för tre olika infraljudfrekvenser 6, 12 och 16 Hz*. Undersökningsrapport 1982:4. Solna: Arbetarskyddsstyrelsen.
- Landström U, Danielsson Å, Lindmark A, Lindqvist M, Liska L & Söderberg L (1982b) *Exponering för tre olika infraljudnivåer, 95, 110 och 125 dB(lin) – effekter på människa*. Undersökningsrapport 1982:24, Solna: Arbetarskyddsstyrelsen.
- Landström U, Lundström R & Byström M (1983a) *Perception och sänkt vakenhet under exponering för infraljud*. Arbete och Hälsa 1983:10. Solna: Arbetarskyddsstyrelsen.
- Leventhall H G & Kyriakides K (1974) Acoustically induced vibrations of the body. In *Conference of the U.K. Group on Human Response to Vibration*, Yeovil, September.
- Leventhall H G (1980) The occurrence, measurement and analysis of low frequency noise. In *Conference on Low Frequency Noise and Hearing*, Aalborg, May.
- Liberson W T & Liberson C W (1966) EEG records, reaction time, eye movements, respiration and mental concentration during drowsiness. *Recent Adv. Biol. Psychiat.* 8.
- Mohr G C, Cole J N, Guild E & Gierke H E von (1965) Effects of low frequency and infrasonic noises on man. *Aerospace med* 36.
- Møller H (1980) The influence of infrasound on task performance. In *Conference on Low Frequency Noise and Hearing*, Aalborg, May.
- Møller H & Andresen J (1983) Loudness of infrasound. In *Proceedings from Inter-Noise 83*, vol II.
- Nixon C W & Johnson D L (1973) Infrasound and hearing. In *Proceedings of International Conference on Noise as a Public Health Hazard*, Dubrovnik, May.
- Nixon C W (1973) Human auditory response to intense infrasound. In *Proceeding of the Colloquium of Infrasound*. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, September.
- Okai O, Saito M, Taki M, Mochizuki A, Nisiwaki A, Tori T & Fujio M (1980) Physiological parameters in human response to infrasound. In *Conference on Low Frequency Noise and Hearing*, Aalborg, May.
- Sandberg U (1983) Combined effect of noise, infrasound and vibration on driver performance. In *Proceedings from Inter-Noise 83*, vol II.
- Slarve R N & Johnson D L (1975) Human whole body exposure to infrasound. *Aviat. Space Environ. Med.* 46(4).
- Yamada S, Kosaka T, Bunya K & Amemiya T (1980) Hearing of low frequency sound and influence on human body. In *Conference on Low Frequency Noise and Hearing*. Aalborg, May.
- Yeowart N S (1971) Low frequency threshold effects. *Proceedings of Fall Meeting of British Acoustical Society*, 7.
- Yeowart N S, Bryan M & Tempest W (1968) Low frequency noise thresholds. *Journal of Sound and Vibration*, 9.

9. Ultraljud

Ulf Landström, Arbetslivsinstitutet, Umeå

9.1 Egenskaper och förekomst

Med ultraljud avses ljudfrekvenser över 20 kHz. Ultraljudsproblematiken kan ur såväl fysikalisk som biologisk synpunkt indelas i två olika exponeringssituationer. Uppdelningen baseras framförallt på ljudets olika spridningsvägar i luft och fast materia. Man talar om luftburet ultraljud och kroppsburet ultraljud. Exponering för luftburet ultraljud aktualiseras från bl a ultraljudtvättar, ultraljudsvetsar och höghastighetsborrar där alstringsfrekvensen ligger inom frekvensområdet 20-50 kHz. För ultraljudkällor med högre alstringsfrekvenser, exempelvis terapi- och diagnostikapparatur är energiabsorptionen i luft mycket hög varför utbredningen i luft blir mycket kort. Exponering för kroppsburet ultraljud aktualiseras i första hand i de fall där individen kommer i direkt kontakt med en ultraljudalstrande källa.

9.2 Ultraljud som sprids i luften

Beträffande luftburet ultraljud har intresset huvudsakligen inriktats på eventuella effekter på hörselorganet, psykisk belastning samt uppvärmningseffekter.

9.2.1 Effekter och upplevelser i hörselorganet

Överstimulering med ultraljud kan framkalla svårdefinierbara upplevelser av tryck eller värme i örats inre delar (Acton & Carson, 1967). Intresset vad gäller effekter på hörselorganet har dock huvudsakligen riktats på frågeställningar huruvida ultraljudet menligt kan påverka förmågan att uppfatta ljud under frekvensen 10 kHz.

Risken för bestående hörselskador av ett ultraljud anses vara störst när exponeringsnivåerna och ultraljudfrekvenserna förekommer med sådan karaktär att undertoner kan påverka hörselorganet. Ultraljudexponeringar blir därför av naturliga skäl särskilt kritiska vid frekvenser strax över 20 kHz, dvs intill den hörbara gränsen (Smith, 1967; Acton & Carson, 1967). Undersökningar på människa, på arbetsplatser och på laboratorier, har visat att frekvensbandet 22-28 kHz är främst besvärande ur såväl subjektiv obehagsupplevelse som ren smärtsynpunkt. Det tycks även som om obehags- och smärtförminnelsen främst utlöses när ultraljudexponeringen koncentreras till smala frekvenser. Denna typ av exponering är relativt vanligt förekommande i arbetsmiljön, t ex från höghastighetsborrar, tvättar eller slipverktyg. Obehaget upplevs ofta som en brännande känsla i hörselgången. Denna reaktion är ej att jämföra med de obehagsupp-

levelser som hörbart ljud kan framkalla. Obehaget från ultraljudet föranleds troligtvis inte bara av en överstimulering av hårceller i själva hörselorganet utan även via överstimulering av andra känselreceptorer i örat.

Ultraljud kan även framkalla påtaglig tryckkänsla i hörselorganet med illamående och yrsel som resultat. Tröskeln för dessa effekter ligger för 20 kHz vid ca 100 dB. Under 90 dB (20 kHz) är besvären ytterst sällan förekommande (Acton & Carson, 1967).

9.2.2 Obehagsupplevelser av ultraljud

Ett annat område som uppmärksammas är den subjektiva obehagsupplevelse som ultraljudet i vissa fall kan ge upphov till. I själva verket aktualiserades ultraljudets medicinska effekter vid slutet av 1940-talet, i och med diskussionerna kring den s k "ultraljudsjukan" (Allen & Rudnick, 1947). Med denna åkomma avsågs de symtom som rapporterades förekomma bland markpersonal på flygfälten som arbetade i närheten av flygplanens jetmotorer. Symtomen bestod i trötthet, huvudvärk och illamående och antogs ha samband med det ultraljud som uppstod från jetmotorerna. Liknande symptom påvisades sedermera bland personal verksamma i nära anslutning till ultraljudtvättar, ultraljudsvetsar m m.

Ultraljudets rumsliga utbredning är vanligen mycket begränsad. Ultraljudets utbredning reduceras som regel påtagligt med relativt enkla absorbenter. Den individuella exponeringen mot örat begränsas även effektivt med normalt dimensionerade hörselskydd. Selektiva hörselskydd, verksamma inom det högfrekventa området, har utvecklats under senare år.

Enligt många undersökningar påstås ultraljudet vara lättare att uthärda om det blandas eller maskeras av annat buller. Detta gäller den subjektiva obehagsupplevelsen. Huruvida ultraljudet kan framkalla hörselnedsättning på människa är ännu ej helt klarlagt. Fortfarande saknas tillförlitliga undersökningar. Hitillsvarande undersökningar talar dock för att ultraljudet ej skulle påverka hörförmågan genom utveckling av bestående hörselnedsättningar. Bestående hörselskador framkallade av ultraljudexponering har hittills ej påtalats eller bevisats förekomma. Temporära kortvariga nedsättningar av hörförmågan har noterats i samband med höga exponeringsnivåer i närheten av 20 kHz (Acton & Carson, 1967; Parrack, 1966; Knight, 1968).

9.2.3 Värmeeffekterna av luftburet ultraljud är små

Att ultraljud kan leda till uppvärmning av kroppens vävnader har varit känt sedan länge (Acton, 1974). Detta utnyttjas vid bl a terapeutisk användning då ultraljudskällan applicerades direkt mot kroppen i syfte att värma.

Med hänsyn till gällande normala exponeringssituationer i arbetslivet kan därför fastslås att uppvärmningseffekten utgör ett mycket litet problem i fallet luftburet ultraljud.

Vid riskbedömning av luftburet ultraljud bör hänsyn i första hand tas till effekter lokaliserade till örat samt den subjektiva obehagsupplevelsen.

9.2.4 Hygienisk bedömning av ultraljud

Nuvarande allmänna råd för ultraljud formulerade i Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling, baseras på en riskbedömning för påverkan på hörselorganet. För tersbandet vid 20 kHz gäller en högsta rekommenderad nivå på 105 dB. För tersbanden 25 kHz - 200 kHz gäller högsta nivån 115 dB. Noteras bör att lägsta tersen definieras av mittfrekvensen 20 kHz, vilket ur hygienisk bedömnings-synpunkt innebär att gränsen för ultraljud sätts till 18 kHz.

9.3 Ultraljud som sprids i kroppen

Risken för vävnadseffekter är påtaglig främst i de fall där ultraljudet genereras direkt mot kroppen, dvs vid sk kroppsburet ultraljud.

För närvarande saknas gränsvärden eller rekommendationer för kroppsburet ultraljud. I fallet kroppsburet ultraljud förekommer risk för såväl direkta värmeeffekter som mekanisk påverkan i form av kavitation, dvs mekanisk bildning av hålrum eller blåsor (Esche, 1952). Båda dessa effekter utgör resultatet av en energiabsorption där ultraljudet lämnar ifrån sig sin energi till vävnaden.

Undersökningar av olika slag har visat att energiabsorptionen är mycket komplex vad gäller ultraljud. Energiabsorptionen varierar avsevärt vävnadstyper emellan. Därmed blir även riskbedömningen mycket svår att genomföra vilket kanske delvis förklarar avsaknaden av normer och gränsvärden för det kroppsburna ultraljudet. Energiabsorptionen är exempelvis mycket högre i ben- och ögonvävnad än i fettvävnad.

Detta innebär att uppvärmningen vid en ultraljudexponering blir mycket olika på olika djup i kroppen. Till detta kommer dessutom att nedkylningen i hudlager och via blodcirkulation varierar starkt i olika kroppsdelar. Exponering för ultraljud kan leda till en kraftig temperaturhöjning i det ytliga hudlagret. Temperaturökningen reduceras inåt hudlagret. När ultraljudet exempelvis når en muskelvävnad sker dock ett temperatursprång på grund av en högre energiabsorption i muskelvävnad. Djupare in i muskelvävnaden sjunker temperaturen på nytt. Om ultraljudet så småningom skulle nå fram till och absorberas i en benvävnad, skulle detta kunna innebära en mycket dramatisk temperaturhöjning på relativt stort djup i kroppen (Schwan m fl, 1953; Goldman & Heuter, 1957; Dussik m fl, 1958).

Det vi idag vet om vävnadsskador förorsakade av ultraljud, baseras i huvudsak på den medicinska forskning som bedrivits under senare decennier och som syftat till att klarlägga eventuella bieffekter vid terapeutisk och diagnostisk användning av ultraljud. De resultat som då framkommit har i huvudsak baserats på djurförsök. Behovet av ökade kunskaper för att säkerställa riskerna av kroppsburet ultraljud i arbetslivet bör framhållas. Hygieniska anvisningar liksom mättings- och analysförfaranden bör utvecklas.

9.5 Sammanfattning

Risken vid luftburen ultraljudexponering med avseende på påverkan på hörseln föreligger främst i de fall där ljudgenereringen ligger i området kring 20 kHz. Ljudtrycksnivåer i området 100-110 dB, kan i dessa fall via exponering för undertoner leda till temporära hörselnedsättningar liksom obehagsupplevelser i form av tryck och värmekänsla lokaliserade till hörselorganet. Störningsupplevelsen vid denna typ av bullerexponering är ofta påfallande.

Vid sk kroppsburen ultraljudexponering sker en energiabsorption till de vävnader som exponeras in mot kroppen. Denna energiabsorption är olika för olika typer av vävnader. I de fall där ultraljudexponeringen är för hög eller långvarig finns risker för skador på vävnader beroende på såväl mekanisk påverkan som förhöjd temperatur.

9.5 Referenser

- Acton W I (1974) The effects of industrial airborne ultrasound on humans. *Ultrasonics*, 124-127.
- Acton W I & Carson M B (1967) Auditory and subjective effects of airborne noise from industrial ultrasonic sources. *Brit J Indust Med* 24:297.
- Allen C H & Rudnick I A (1947) Powerful High Frequency Siren. *J Acoust Soc Am* 20:857.
- Dussik K T, Fritch D J, Kyriazidon M & Sear R S (1958) Measurement of Articular Tissues with Ultrasound. *Amer J Phys Med* 37:160.
- Esche R (1952) Untersuchungen der Schwingungskavitation in Flüssigkeiten. *Acustica*, 2 AB, 208.
- Goldman D E & Hueter T F (1957) Tabular Data of the Velocity and Absorption of High Frequency Sound in Mammalian Tissues. *J Acoust Soc Amer* 29:655.
- Knight J J (1968) Effects of airborne ultrasound on man. *Ultrasonics* 39-41.
- Parrack H O (1966) Effect of airborne ultrasound on humans. *Int Audiology* 5:294.
- Schwan H P, Carstensen E L & Li K (1953) Heating of Fat-Muscle Layers by Electromagnetic and Ultrasonic Diathermy. *Trans Amer Inst Elect Eng* 72(1):483.
- Smith P E (1967) Temporary threshold shift produced by exposure to high frequency noise. *Amer Indust Hygiene Ass J*, 28:447.

10. Sammanfattning

Landström U, Arlinger S, Hygge S, Johansson Ö, Kjellberg A & Persson Waye K (1999) *Störande buller. Kunskapsöversikt för kriteriedokumentation*. Arbete och Hälsa 1999:27.

Buller kan föranleda problem på nivåer långt under de som kan ge upphov till hörselskador. De ljud som kan ge hörselskador kan också på andra sätt påverka dem som utsätts för det. Föreliggande dokument behandlar i huvudsak de av dessa effekter som kan ges den samlade beteckningen störning. I störningsbegreppet, som det används i denna rapport, ingår även andra reaktioner på bullret än direkta värderingar av bullret. I rapporten behandlas även sådana effekter som den buller-exponerade inte själv nödvändigtvis kopplar till bullret. Bullret kan t ex tänkas skapa trötthet eller irritabilitet utan att personen själv ser detta som en buller-effekt. I rapporten behandlas även andra uttryck för bullerstörning än de upplevelsemässiga. Bullret kan göra att arbetsuppgiften blir svårare att genomföra och det kan därför också försämra prestationen. I rapporten ingår även fysiologiska manifestationer av den subjektiva och beteendemässiga störningen, t ex sömnhet och stressreaktioner.

Kapitel 2 behandlar kritiska fysikaliska egenskaper hos ljudet och hur dessa kan mätas. Kapitel 3 tar upp hur de fysikaliska ljudegenskaperna bestämmer ljudets sensoriska kvaliteter och hur dessa påverkar störningsreaktionen. Kapitel 4 redovisar hur fysikaliska ljudegenskaper och hörselskada påverkar talinterferensen. Kapitel 5 behandlar de icke akustiska förhållandenas betydelse för störningsreaktionen.

Tre ljudtyper har brutits ut och behandlas i särskilda kapitel. I kapitel 7 behandlas lågfrekvent buller, i kapitel 8 infraljud och i kapitel 9 ultraljud. Dessutom behandlas i kapitel 6 de speciella problem för inlärning och prestation som buller i skolmiljö kan skapa.

11. Summary

Landström U, Arlinger S, Hygge S, Johansson Ö, Kjellberg A & Persson Waye K (1999) *Störande buller. Kunskapsöversikt för kriteriedokumentation*. Arbete och Hälsa 1999:27.

Noise can affect a listener indirectly, even at high intensity levels more generally characterized by the risk for damage to the auditory system. This report focuses on those effects that are termed as *annoyance*. The annoyance concept adapted for this report encompasses not only reactions directly attributable to noise exposure, but even those reactions that may not be directly associated with the exposure, such as fatigue or irritability. Further, this report addresses how noise can affect performance, as well as how noise can affect various physiological measures of subjective response (e.g. fatigue and stress reactions).

Chapter 2 is a presentation of critical physical properties of sound and how these properties can be evaluated. Chapter 3 deals with the physical characteristics of the sound and how these affect perceived annoyance. Chapter 4 is a presentation of how physical sound properties and hearing can affect speech perception. Chapter 5 reviews some of the nonacoustical aspects of annoyance. Three specific sound characters are focused upon and presented in separate chapters. Chapter 7 deals with low frequency noise, Chapter 8 deals with infrasound and Chapter 9 with ultrasound. In Chapter 6, specific problems in learning and performance that noise can produce in school environments are discussed.